



Январь.

ПРИРОДА

2002

90 лет

*Говорим взволнованно и просто:
Нам сегодня ровно девяносто.*

*То не годы — ярких душ горенье,
Просто смена славных поколений.*

*И глядят страницы, словно лица,
В них Природа бесконечно длится.*

*Время длится, как вода и воздух.
Просто у "Природы" вечный возраст.*



ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Издается с января 1912 года

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), академик **А.Ю.РУМЯНЦЕВ** (ядерная физика), 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.ЧЕРЕПАЩУК** (астрономия, астрофизика).

Свидетельство о регистрации №1202 от 13.12.90

Учредители: Президиум РАН,

Издательско-производственное и книготорговое объединение «Наука»

Адрес издателя: 117997, Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991, Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26

Тел.: 238-24-56, 238-25-77 Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 17.12.2001

Формат 60×88 1/8

Бумага типографская №1, офсетная печать, усл. печ. л. 10,32, усл. кр.-отт. 67,8 тыс.,

уч.-изд. л. 12,2

Заказ 4925

Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука» Академиздатцентра «Наука» РАН,

121099, Москва, Шубинский пер., 6

Налоговая льгота – общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2;

952000 – журналы



Академиздатцентр «Наука» РАН

© Российская академия наук, журнал «Природа», 2002

В НОМЕРЕ:**5 Успенская Н.В.**

«Природа» и Московский университет: путешествие во времени

12 Заварзин Г.А.

Роль комбинаторных событий в развитии биоразнообразия

Эволюция происходит аддитивным путем, при котором условием существования сложных форм служит сохранение экосистемных отношений, созданных их предшественниками.

20 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ

Выход США из Международного соглашения по ограничению выбросов парниковых газов (Киото, 1997) заставляет переоценить перспективы движения к экологически безопасному миру.

Иноземцев В.Л.

Кризис Киотских соглашений и проблема глобального потепления климата (20)

Бялко А.В.

Климат и народонаселение — причинные связи (29)

Калейдоскоп**32**

Новая жизнь «Биосферы-2» (32). — Спасение Венеции: новая жизнь проекта (32). — Тайфун нанес потерь больше, чем противник (32). — Гомер и исследование океанов (50). — Лазерная обсерватория пострадала от землетрясения (50).

33 Дьяков Ю.Т.

Фитофтороз — глобальные и внутрироссийские проблемы

По прошествии 150 лет со времени первых эпидемий фитофтороза проблема «картофельной болезни» все еще далека от решения.

Научные сообщения**40 Басов И.А.**

Накопление карбонатов в холодных водах
(182-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

Лекторий**42 Сурдин В.Г.**

Гравитация и звезды

Сила тяжести, в поле которой мы живем, не замечая ее, для звездных систем оказывается определяющей. Исследования гравитации, начатые И.Ньютоном, продолжаются до сих пор.

51 Хаин В.Е.

Современная геодинамика: достижения и проблемы

Новые методы и инструменты исследования глубинной геодинамики существенно продвинули наши знания, но одновременно обострили существовавшие в геологии проблемы и породили новые.

Заметки и наблюдения**60 Уфимцев Г.Ф.**

Три ущелья в бассейне Янцзы

65 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2001 ГОДА**Каган Ю.М.**

По физике — Э.Корнелл, В.Кеттерле, К.Вайман

Белянова Л.П.

По химии — У.Ноулс, Р.Нойори, Б.Шарплесс

Баранова А.В.

По физиологии и медицине — Л.Хартвелл, П.Нерс, Т.Хант

Новости науки**76**

Межзвездные планеты-гиганты (76). — Самый большой астероид. **Сурдин В.Г.** (76). — На Ганиমেде — тоже океан! (78). — Первое ВТСП-устройство — для РАО ЕЭС. **Корецкая С.Т.** (78). — Летучие мыши — охотники на птиц (79). — Удрать от опасности на попутном моллюске. **Несис К.Н.** (80). — Открытие новой литосферной плиты. **Басов И.А.** (80). — Эпохальные находки в Московском Кремле. **Панова Т.Д.** (81).

Рецензии**83 Альтшулер Б.Л.**

Скучно без Сахарова

Новые книги**89****Встречи с забытым****91 Сорокина М.Ю.**

«Русский Моцарт»

Успенская Н.В.

Любовь к родному пепелищу (96)

CONTENTS:

- 5** **Uspenskaya N.V.**
**Priroda and Moscow University:
 A Time Travel**

- 12** **Zavarzin G.A.**
**The Role of Combinatorial Events in
 the Development of Biodiversity**
Evolution proceeds in an additive fashion, whereby a prerequisite for the existence of complex forms is the preservation of ecosystem relationships created by their predecessors.

- 20 ENVIRONMENTAL PROBLEMS AND
 ECONOMIC EXPEDIENCY**
The US withdrawal from the international agreement setting limits on greenhouse gas emissions (Kyoto, 1997) leads to a reassessment of the prospects for environmental safety in the future.

- Inozemtsev V.L.**
**The Crisis of the Kyoto Accords and
 the Problem of Global Warming (20)**

- Byalko A.V.**
**Climate and Population: Cause and
 Effect Relationships (29)**

Kaleidoscope

- 32**
 A New Life for Biosfera-2 (32). – The Saving of Venice: The Project Gets Revitalized (32). – A Typhoon Has Caused Greater Damage than the Enemy (32). – Homer and Oceanic Research (50). – Laser Observatory Damaged by an Earthquake (50).

- 33** **Dyakov Yu.T.**
**Phytophthora Infection: Global and
 Russian Problems**

After a lapse of 150 years since the first Phytophthora infection, the problem of «potato disease» is still far from its resolution.

Scientific Communications

- 40** **Basov I.A.**
**Carbonate Accumulation in Cold
 Waters**
 (182th Cruise of the JOISES Resolution)

Lectures

- 42** **Surdin V.G.**
Gravitation and Stars
Gravity, in which we live without noticing it, is a decisive force for star systems. Pioneered by I. Newton, research on gravity is still in progress.

- 51** **Khain V.E.**
**Modern Geodynamics: Progress and
 Problems**

New methods and tools for investigating deep geodynamics have substantially furbered our knowledge, at the same time exacerbating some problems existing in geology and creating new ones.

Notes and Observations

- 60** **Ufimtsev G.F.**
**Three Gorges in the Yangtze River
 Basin**

- 65 2001 NOBEL PRIZE WINNERS**
Kagan Yu.M.
**For Physics: E. Cornell, W. Ketterle,
 and C. Wieman**

- Belyanova L.P.**
**For Chemistry: W. Knowles,
 R. Noyori, and B. Sharpless**

- Baranova A.V.**
**For Physiology and Medicine: L.
 Hartwell, P. Nurse, and T. Hunt**

Science News

- 77**
 Interstellar Giant Planets (76). – The Largest Asteroid. **Surdin V.G.** (76). – Ganymede Has an Ocean, Too! (78). – The First HTSC Device for the Russian Unified Energy Systems. **Koretskaya S.T.** (78). – Bats Are Bird Hunters (79). – Hitch-hike a Mollusc to Escape a Danger. **Nesis K.N.** (80). – The Discovery of a New Lithospheric Plate. **Basov I.A.** (80). – History-making Finds in the Moscow Kremlin. **Panova T.D.** (81).

Book Reviews

- 84** **Altshuler B.L.**
Sakharov Is Terribly Missed

New Books

- 90**
Encounters with the Forgotten
91 **Sorokina M.Yu.**
«Russian Mozart»

- Uspenskaya N.V.**
Love of Hearth and Home (96)

«Природа» и Московский университет: путешествие во времени

Н.В.Успенская

26 января 1912 г. в Москве явился на свет естественноисторический журнал для самообразования под названием «Природа». А за год до того, 27 января 1911 г., грянула знаменитая история, потрясшая основы московского университета. Несомненно, что рождение «Природы» стало одним из следствий дуэли чести, вспыхнувшей между лучшими преподавателями храма науки на Моховой и правительством Столыпина. Конечно, профессора проиграли, хотя до последнего момента исход дуэли выглядел непредсказуемым.



Нина Владимировна Успенская, заведует отделом истории науки в нашем журнале. По архивным, литературным и другим источникам восстановила малоизвестные эпизоды из жизни «Природы». Основные публикации по этой теме: «Приложения к “Природе”» (1978. №2); «Природа до “Природы”» (1981. №11); «А.П.Чехов и В.А.Вагнер» (1982. №1); «“Природа” в годы Великой Отечественной войны» (1985. №5); «“Природа” и время» (1992. №1).

Университетская трагедия

Описывая разыгравшуюся коллизию, уместно поставить в центр внимания слово «порядок», которое сегодня ласкает слух, но к которому, напротив, недружелюбно относилась передовая русская интеллигенция в ту пору, когда она еще существовала.

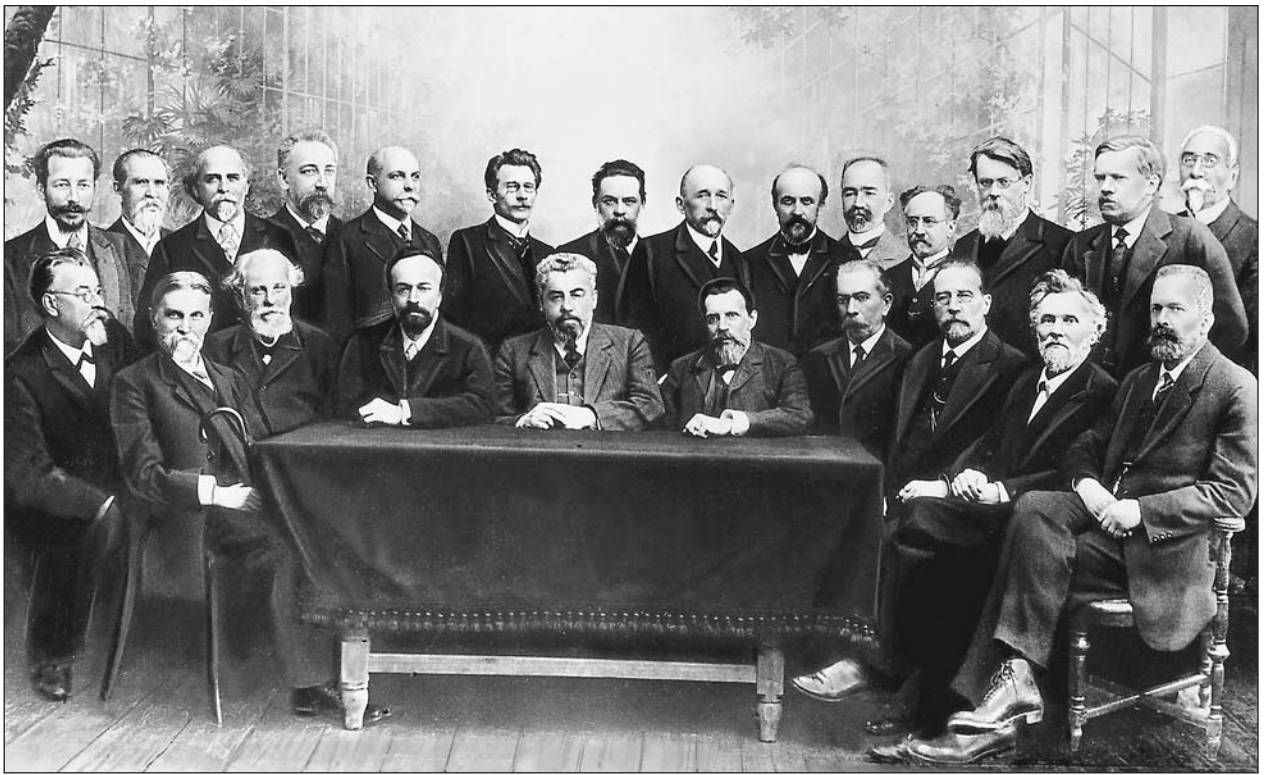
Итак, в январе 1911 г. в Московском университете пробежала зыбь привычных студенческих волнений, обещавших быстро утихнуть. По утверждению В.И.Вернадского, «забастовка

встретила сопротивление не только в профессуре, но и в студентах» [1, с.193]. Тем более неожиданным было появление в стенах университета наряда полиции, которая, согласно циркуляру министра народного просвещения Л.А.Кассо, взяла на себя функцию наведения порядка и отстранила от этого руководство университета, якобы неспособное справиться с ситуацией.

Это было воспринято как грубое нарушение университетской автономии. Тут же собирается Совет университета, и профессор А.А.Мануйлов (полити-

ческая экономия) подает в отставку от занимаемой должности ректора, поскольку, как писал П.Н.Лебедев, он «не имел возможности нести принадлежащую ему *по закону* ответственность за нормальное течение академической жизни в университете» [2]. Примеру Мануйлова последовали помощник ректора М.А.Мензбир (сравнительная анатомия) и проректор П.А.Минаков (судебная медицина). Совет признал их мотивы убедительными. Как выглядела изнутри сложившаяся обстановка, показывают строки из письма од-

© Н.В.Успенская



24 из более чем 130 профессоров и преподавателей Московского университета, подавших в отставку в 1911 г. Сидят: В.П.Сербский, К.А.Тимирязев, Н.А.Умов, П.А.Минаков, А.А.Мануйлов, М.А. Мензбир, А.Б.Фохт, В.Д.Шервинский, В.К.Цераский, С.Н.Трубецкой. Стоят: И.П.Алексинский, В.К.Рот, Н.Д.Зелинский, П.Н.Лебедев, А.А.Эйхенвальд, Г.Ф.Шершеневич, В.М.Хвостов, А.С.Алексеев, Ф.А.Рейн, Д.С.Петрушевский, Б.К.Млодзеевский, В.И.Вернадский, С.А.Чаплыгин, Н.В.Давыдов.

ного из сотрудников университета, Н.И.Огановского: «Полиция в университете хозяйничает, как в своем участке. Это оставляет, конечно, сильное влияние как на студентов, так и на профессоров. Какой позор проходить сквозь строй полупьяных, краснорожих городских, читать 2—3 черносотенникам под охраной благожелательной полиции. Полиция, охраняющая науку, — какое противоречие. Ректор Мануйлов не выдержал и подал в отставку» [3].

А дальше произошло нечто особенное. Министерство народного просвещения не только приняло отставку ректора, его помощника и проректора с их административных постов, но, не приводя никаких доводов, вообще уволило из университета, лишив тем самым права преподавать в нем и работать в его

лабораториях. Не видя иного способа поддержать коллег и согласуясь со своими личными представлениями о чести и человеческом достоинстве, один за другим стали покидать университет его лучшие преподавательские силы.

Всего подало в отставку более 130 профессоров и преподавателей — треть общего состава. Прошения удовлетворялись немедленно. Между тем люди шли на это с болью в душе. «Многими переживаются тяжелые нравственные драмы, — пишет Вернадский, одним из первых покинувший *alma mater*, — многие стоят перед дилеммами, решение которых связано с мучениями» [1, с.196]. Петр Николаевич Лебедев, наш великий физик, не смог пережить этого. Он скончался в марте 1912 г. от сердечного приступа. Расставшись с уни-

верситетом, Лебедев терял прекрасно оборудованную лабораторию, где проводил уникальные исследования. Он не дождался ни Нобелевской премии, ни нового здания для своего института на Миусской площади, для которого уже были собраны средства.

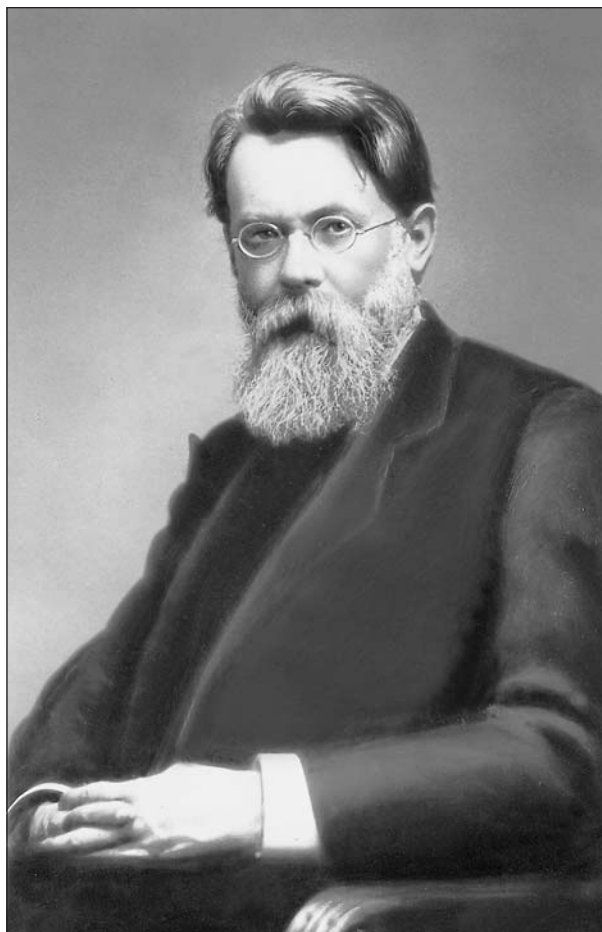
«Над высшей школой, — отметил Вернадский, — проявлен эксперимент “твердой власти”» [4, с.190]. И он же: «Старый Московский университет перестал существовать» [1, с.194].

Писаржевский

Московские настроения перекинулись в университеты Петербурга, Варшавы, Томска, Харькова, в высшие учебные заведения других городов. Они стояли на пороге той же драмы.



Петр Николаевич Лебедев.



Владимир Иванович Вернадский.

Но Парка решила иначе плести свою нить, и конфликтующие стороны стали проявлять больше склонности к компромиссам.

Только в Киевском политехническом институте, подведомственном Министерству торговли и промышленности, события развивались по самому жесткому сценарию. А именно: без каких-либо прошений об отставке, совершенно бесцеремонно, были уволены сразу три декана, профессора А.В.Нечаев, К.Г.Шиндлер и С.П.Тимошенко. Семь преподавателей сочли для себя невозможным оставаться в стороне от произвола, которому подверглись их заслуженные коллеги, и подали в отставку.

Среди этих семи числится преподаватель химии, профессор Лев Владимирович Писаржевский, который вместе с Владимиром Александровичем Ваг-

нером стал основателем и редактором «Природы». Сотрудниками журнала (так обозначалась редакционная коллегия), чьи имена публиковались на обороте обложки, стали бывшие профессора Московского университета и другие видные ученые-естествоиспытатели, горячо откликнувшиеся на события 1911 г. Назовем хотя бы некоторых: В.И.Вернадский, Н.К.Кольцов, Л.А.Тарасевич, Н.М.Кулагин, М.А.Мензбир, Н.А.Умов, П.П.Лазарев.

Покинув Политехнический институт, эсер Писаржевский не мог более оставаться в Киеве. Судя по дошедшим до нас бумагам Киевского охранного отделения, за ним велась пристальная слежка. В одной из справок, составленных по просьбе следователя и приложенных к очередному донесению, говорилось:

«В отчете по наружному наблюдению в гор.Киеве по партии социалистов-революционеров за апрель 1909 г. имеются указания, что профессор Киевского политехнического института Лев Владимирович Писаржевский, 37 лет, 19 апреля взят в наблюдение по агентурным сведениям как видный член партии» [5]. Письма, получаемые Писаржевским, перлюстрировались. Готовился обыск. После событий 1911 г. полиция потребовала немедленно покинуть Киев.

Это была не самая страшная кара. Писаржевский приезжает в Москву и разворачивает бурную деятельность по организации популярного естественнонаучного журнала. Другой работы у него просто-напросто не было, средств к существованию — тоже, но энтузиазм бил через край. Поэтому дело сдела-



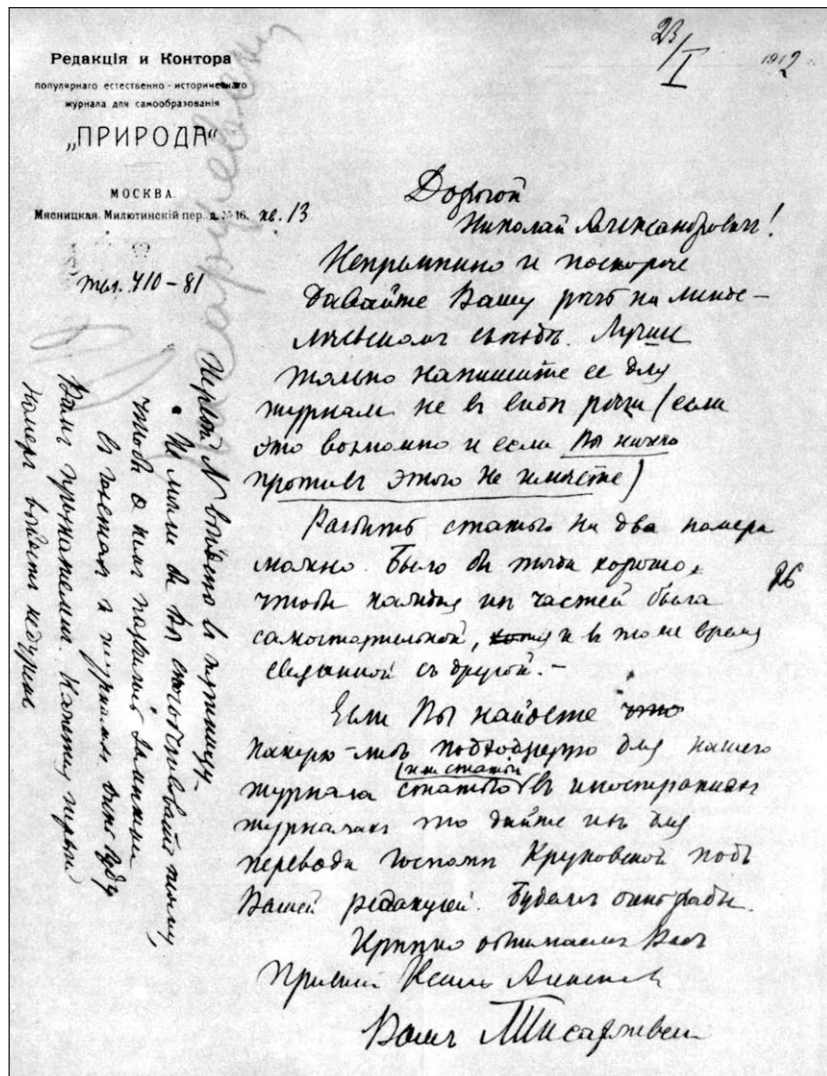
Лев Владимирович Писаржевский в молодые годы.

лось быстро. Средства были получены от одесского издательства «Родное слово» и других, пожелавших остаться неизвестными, хороших людей (слова из письма Писаржевского его старшему другу Н.А.Морозову). Прелестная обложка в стиле, который теперь называют «русский модерн», была исполнена популярным в те годы графиком М.И.Соломоновым. Это, конечно, выбор Писаржевского, который был поэт и художник. Ученики помнили его большие полотна в стиле Сомова. Зато шуточный рисунок на титульном листе — трудолюбивая пчела — перенесен с личного бланка петербургского профессора Владимира Александровича Вагнера.

В отличие от Писаржевского, который ринулся в новое дело очертя голову, Вагнер, фигурально выражаясь, давно носил в кармане план журнала.

Вагнер и Чехов

Известный зоопсихолог, страстный пропагандист естествознания и признанный метр по этой части, Вагнер загорелся идеей научно-популярного журнала под влиянием Антона Павловича Чехова. Произошло



Факсимиле письма Л.В.Писаржевского Н.А.Морозову с сообщением о выходе №1 «Природы».

это задолго до описываемых событий. Они встретились в 1891 г. в живописной барской усадьбе в селе Богимове, близ Алексина, и провели целое лето в постоянном общении. «Он превосходный зоолог и большой философ», — заметил Чехов, говоря о Вагнере [6, т.5, с.170], личность которого получила отражение в творчестве писателя. В Богимове Чеховым написана повесть «Дуэль». Центральная фигура повести, зоолог фон Корен, — это Вагнер. Среди многих свидетельств, подтверждающих сей факт, — воспоминания брата писателя,

Михаила Павловича: «Часа в три дня Антон Павлович снова принимался за работу и не отрывался от нее до самого вечера. Вечером же начинались дебаты с зоологом В.А.Вагнером на тему о модном тогда вырождении, о праве сильного, о подборе и так далее, легшие потом в основу философии фон Корена в «Дуэли» [7]. На просьбу своего издателя А.С.Суворина изменить фамилию фон Корена Чехов отвечает: «Фон Корен остается фон Кореном. Изобилие Вагнеров, Брандты, Фауссеки и проч. отрицают русское имя в зооло-



Антон Павлович Чехов. Фото 1893 г.

гии, хотя все они русские» [6, т.4, с.266]. Чехов и Вагнер вместе написали фельетон «Фокусники», посвященный неприглядным делам, которые творились в Московском зоопарке. Но для нас куда более интересен другой результат их общения. Они решили вместе издавать популярный естественнонаучный журнал. Обстоятельную информацию по этому поводу мы находим в 11 письмах Вагнера Чехову, которые хранятся в Отделе рукописей Российской государственной библиотеки (РГБ), бывшей Ленинки. Они охватывают период с октября 1891 по декабрь 1894 г. (на некоторых даты проставлены рукой Чехова), и все посвящены будущему изданию.

Вагнер был человек обстоятельный, дорожил советами Чехова в незнакомом деле, и поэтому из писем можно понять все, что происходило с журналом. Благодаря знакомству Вагнера с Сувориным, который дважды приезжал на дачу к Чехову, планы Чехова и Вагнера начали приобретать реальные очертания. Антон Павлович участвовал в обсуждении направле-

ния и характера издания и даже придумал ему название — «Натуралист». «Вы таким образом выходите его крестным отцом», — писал Вагнер [8].

Через некоторое время Вагнер представил Суворину программу будущего издания. Суворин дал объявление в газетах. Вагнер с полным энтузиазмом начал работать.

В письме от 23 марта 1893 г. подробно описывается структура журнала и круг его авторов. «В настоящее время, — пишет Вагнер, — нам обещали свое сотрудничество профессора всех университетов, кроме Томского, к которому не обращались. Обещали участие: Ковалевский, Мечников, Воейков, Меншуткин, Иностранцев, Бекетов, Глазенап, Анучин.<...> Очень бы хотелось, чтобы три первые книжки заключали в себе статьи, по которым бы читатели могли себе составить близкое представление о тех задачах, которые хотелось достигнуть журналом. А они широки. <...> Меня это дело поглощает настолько, что я как-то позабыл даже о своей докторской диссертации, а она, кажется, задалась».

Между тем Вагнера ожидала неприятная весть. Прошло уже больше месяца, как Суворин сообщил Чехову, что издавать журнал не хочет, и объяснил почему: боится материализма Вагнера. Дело принимало некрасивый оборот. Суворин выходил из игры, когда это уже было поздно и неприлично. Кроме того, он ничего не сообщал Вагнеру.

Вагнер не понимал причины молчания Суворина, волновался за судьбу журнала и надеялся на встречу с Чеховым: «На дворе скоро май, а Вас все нет и нет! Время же тянется для меня, как для посаженного на кол: час за год! Судите сами: о журнале спрашивают, переводы для журнала делают, статьи для журнала присылают, а издатель журнала молчит, как утопленник. <...> Ждут Вас здесь 100 000 Ваших поклонников и я один — как 200 000 поклонниц, взятых вме-



Владимир Александрович Вагнер. Около 1890 г.

сте. Неужели все это Вас ни на волос не трогает и Вы не велите запрягать лошадей?»

Чехов как посредник чувствовал себя крайне неловко, был раздосадован поведением Суворина и вынужден был обсуждать с ним версии предстоящих объяснений. Он делает попытки разными способами охладить пыл Вагнера и отговорить его от издания журнала. Какое там! Вагнер и слышать ничего не хочет. Поскольку в ответном письме от 20 мая Вагнер последовательно опровергал все его аргументы, то мы знаем, какими они были. Чехов писал, что между Сувориным и Вагнером нет «единомыслия и искренности», что Суворин не хочет иметь с ним дела, а насильно мил не будешь и т.д. Кроме того, Чехов, как человек, более опытный в издательских делах, объяснял, что раз журнал не утвержден и нет письменного договора, то издатель имеет формальное право от него отказаться.

Это вызвало настоящую бурю. Вагнеру трудно было примириться с провалом так увлекших его планов. Ему кажется, что еще можно выработать какой-то компромисс. Он готов

1. Полагаясь на
д. Сивомленскую

93 Вагнер

Здравствуйте Антон Павлович! Ужас здоровья-ли вы, что там, подали отороши- свои путики в Москву? Д предан Вася родит на франики, титин могли сраники, гово гетер для неким, накомпер на Ыоги сизго мой, а Вася ве кыта, и кыта! Вреда-че тлетис для мени, кани для могоченико на кыт: кабь за год! Судите сами: о чуркени сраниваюти, о чуркени тиниути, кериови для чуркениа дикати, стайби для

Автограф письма В.А.Вагнера к А.П.Чехову.

уменьшить объем журнала, сократить до минимума все расходы. «У меня нет денег, — признается он, — но я могу выдать Суворину обязательство выплатить в известный срок (разом не имею возможности) все то, что им будет недовыручено с этой суммы от подписчиков».

А в следующем письме (без даты) — снова: «Кто о чем, дорогой Антон Павлович, а я все о журнале». Через Чехова он просит Суворина дать объявление в «Новом времени», что издание «Натуралиста» не может быть осуществлено по причине временной перегруженности магистра зоологии В.А.Вагнера специальными работами. «Письмо это, — пишет Вагнер, — развязало бы мне руки: я исподволь продолжал бы хлопотать о журнале».

С этой мыслью Вагнер не расставался много лет. Ему все грезились журнал, о котором они мечтали вместе с Чеховым. В 1912 г. эти мечты воплотились в жизнь: Вагнер и Писаржевский основали «Природу».

Я взяла на себя труд напомнить о начале пути, по которому наш журнал идет уже 90 лет, преодолев трудности, которые оказались не по плечу многим другим изданиям. Первым препятствием стала шаткость материальной базы. «В скромных, трудных условиях <...> начиналось дело «Природы». На задворках старенького дома на Малой Лубянке, среди угроз описи личного имущества, среди совершенно исключительных условий

рождалась «Природа» в ее почти сохранившихся до сих пор неприкосновенных формах», — писал А.Е.Ферсман [9].

В итоге Писаржевский и Вагнер отошли от журнала. В 1913—1914 г. его задачи решали уже новые редакторы. Ими стали геолог Ферсман, микробиолог Л.А.Тарасевич и биолог Н.К.Кольцов. Двое последних — опальные университетские профессора. Главная роль выпала на долю Николая Константиновича Кольцова. В его руках дела «Природы» и издательства при ней (которое за пять первых лет выпустило более полусотни научно-популярных книг) пошли по восходящей. Пик пришелся на 1917 г. А дальше... Дальше неведомые силы помогли журналу перешагнуть через первую мировую, две

**ПРЬСНОВОДНАЯ ФАУНА
ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ.**

**ПРЬСНОВОДНАЯ ФЛОРА
ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ.**



**КЛАССИКИ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

**Естествен.-Историческая
библиотека „ПРИРОДА“**

**Основной начала
Естествознания.**

Прьсноводная фауна.
под редакцией
проф. **Н. Н. Нильцова.**

Въ виде книги. УЧЕБ. 41 стр.

Цель издания — дать интересующимся русской природой возможность познакомиться с жизнью пресноводной фауны и содействовать расширению сведений по русской фауне.

Надлежит брать выходящие выпуски, которые будут представлять отдельное или по возможности с помощью приложенной воды и содействовать расширению сведений по русской фауне.

НАМЧЕННЫЕ СЛУДЮЩИЕ ВЫПУСКИ:

1. Обшая паразитология. I. Связь между организмом и водной средой. II. Физическо-химическ. условия существования водных организмов. III. Методы собирана водных животных.
2. Географическое распределение прьсноводных организмов.
3. Прикладное значение прьсноводных организмов.
4. Простыши Саркозиты.
5. Простыши Белососы.
6. Простыши Спорыи.
7. Простыши Инфузии.
8. Губки. Кольчаточность.
9. Ресничные черви, медузы.
10. Сцифоиды.
11. Ленточные черви.
12. Свободно живущие круглые черви.
13. Плоские круглые черви.
14. Колониальные черви.
15. Коловратообразные.
16. Малощетинковые и пиявки.
17. Моллюски и моллю.
18. Паукообразные.
19. Ракообразные. I. Лигостоны. Слэбосы.
20. Ракообразные. II.
21. Стрекозы.
22. Членистоногие, паукоп., насеком.
23. Слизняковидные, перепончаточные, полужесткокрылые.
24. Ручейники.
25. Двукрылые.
26. Жлы.
27. Позвоночные.

Прьсноводная флора
под редакцией
проф. **В. М. Арнольди.**

Въ виде книги УЧЕБН:

Ж. А. Алексеева, В. М. Арнольд, С. М. Вязюль, Д. П. Волков, А. И. Глебова, Л. Р. Исаиченко, В. Н. Каваниской, А. К. Коробов, Л. Р. Коробов, И. В. Роды, М. Я. Сивомленская, Д. Ф. Сивомленский, С. Н. Суварен, Л. А. Шкоробатов.

Вышли из печати.

И. И. Мещеряков. Лекции о сравнительной теории населения. Съ портр. лит., 2 таблицами и 63 рис. вк. стр. 164. Под ред. и съ пред. проф. Л. А. Тарасевича. II. Векъ переп. 3 р., въ кожан. переп. 4 р.

И. И. Павлова. Основы работ микробиологических жезель. Съ портр. лит. и рис. вк. текст. Съ портр. лит. II. Векъ переп. 3 р., въ кожан. переп. 4 р.

Готовятся къ печати:

М. В. Ломоносов. Избранные работы под ред. и съ пред. проф. П. Н. Валяева.

Ф. А. Бродягинский. Избр. работы под ред. С. М. Костяковского, проф. К. Д. Погорского и Г. Ф. Погорского.

А. Г. Сивомленская. Активно-электрические исследования. Под ред. и съ пред. проф. П. Н. Валяева.

В. В. Петров, Лавинкина и П. И. Жданович. Русские электротехники. Под ред. и съ пред. К. Н. Шенфера.

В. Ф. Ковалевский. Избранные палеонтологические работы. Под ред. и съ пред. А. А. Борзика.

А. Ф. Бродягинский. Избранные работы по микробиологии. Под ред. и съ пред. К. Н. Валяева и С. И. Мещерякова.

Гарный, Роды, Сивомленская. Очерки общей анатомии животных (млекопитающих, птиц, рыб, земноводных, рептилий, амфибий). Под ред. и съ пред. И. М. Кольцова.

Лунь Шапорова. Избранные работы. Под ред. и съ пред. Л. А. Тарасевича.

Условия подписки на „Клас. Ест.“, „Прьсн. фауну“ и „Прьсн. флору“

Лица, желающие обзавестись собою современное издание издательского библиотечного „XVII и XVIII столетия“. Под ред. и съ пред. И. М. Кольцова.

Лунь Шапорова. Избранные работы. Под ред. и съ пред. Л. А. Тарасевича.

Условия подписки на „Клас. Ест.“, „Прьсн. фауну“ и „Прьсн. флору“

Лица, желающие обзавестись собою современное издание издательского библиотечного „XVII и XVIII столетия“. Под ред. и съ пред. И. М. Кольцова.

Условия подписки на „Клас. Ест.“, „Прьсн. фауну“ и „Прьсн. флору“

Лица, желающие обзавестись собою современное издание издательского библиотечного „XVII и XVIII столетия“. Под ред. и съ пред. И. М. Кольцова.

Ю. А. Филиппенко,
НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ.
Объяснение. Уморительная теория наследственности. Проблема определения зародышевых клеток. Вопрос о наследственности. Статистическое изучение наследственности. Методы численых линий. Менделевизм. Цитология наследственности. Проблема определения пола. Построение преемственности наследственности. Видовые таблицы. Наследственность у человека. 302-IV стр. съ 90 рис.

Цена 3 р. 50 к.

Печатается и въ скором времени поступит въ продажу.

Р. Ф. Шарфъ.
Европейские животные въ геологическая история и географическое распространение.

Подписки жур. „Природа“ при высылке книги не жене, чья въ 5 р., за доставку не платит.



ПЕЧАТЪ

Страница «Природы» с рекламой книг, изданных в виде ее приложений.

10

ПРИРОДА • № 1 • 2002

революции, гражданскую и Великую Отечественную. В 1920 г. журнал не печатался, но в 1921 г. вдруг вынырнул в другом месте, в Петрограде, и в ином качестве — как издание Комиссии по изучению естественных производительных сил России при Академии наук. С этого момента «Природа» становится академическим журналом. На титульном листе 1921 г. отмечалось, что это сдвоенные номера за текущий и прошлый годы. Значит, можно считать, что перерыва в ее издании не было.

В Петрограде—Ленинграде «Природа» издавалась 20 лет. Здесь ее застала война и блокада, которая не остановила работы редакции, пока собранные материалы (так стоял вопрос) не посчастливилось вывезти в Казань.

Журналу удалось пережить сталинский террор, противостоять нажиму Трофима Лысенко. И с 1951 г. «Природа» — снова в Москве, в прежнем своем качестве, со старыми традициями, которые держат ее на плаву и сегодня. Они были заложены создателями журнала — ее редакторами и авторами, которые составляли цвет русской науки и в далеком 1911 г. показали, что такое солидарность, достоинство и честь.

Мне часто приходит на ум рассказ Рея Бредбери, персонаж которого решил попутешествовать на машине времени в доисторическую эпоху. Незаметно для себя он раздавил там бабочку, а вернувшись, обнаружил:

привычный мир изменился до неузнаваемости. Это притча о том, что все взаимосвязано и даже незначительные поступки могут иметь весьма ощутимые последствия. Что уж говорить о таком крупномасштабном действии, как разгром Московского университета, из кото-

рого, кроме всего прочего, было отчислено более тысячи студентов, едва ли начавших испытывать больше расположения к властям. Что же касается ушедших и изгнанных ученых, то они направили освободившиеся силы на новые начинания, к числу которых относится «Природа». ■



С такой обложкой «Природа» выходила первые семь лет.

Литература

1. Вернадский В.И. 1911 год в истории русской умственной культуры // Публицист. статьи. М., 1995.
2. Лебедев П.Н. Научная переписка // Науч. наследство. Т.16. М., 1998. С.359.
3. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф.63 (МОО). Оп.31—1911. Ед. хр.59. Ч.46. Литера Б. Л.65.
4. Вернадский В.И. Разгром // Публицист. статьи. М., 1995.
5. ГАРФ. Ф.102(ДПО0). Оп.1909. Ед. хр.322. Л.18.
6. Чехов А.П. Полное собрание сочинений: Письма. М., 1976.
7. Чехов М.П. Вокруг Чехова. М., 1964. С.236.
8. Отдел рукописей РГБ. Ф.331. П.38. Ед. хр.3.
9. Ферсман А.Е. Памяти Л.А.Тарасевича // Природа. 1927. №6.

Роль комбинаторных событий в развитии биоразнообразия

Г.А.Заварзин

Филогения и эволюция

Традиционная систематика живых существ, первоначально построенная на сравнительной морфологии, привела к стройной картине последовательного усложнения биоты в ходе эволюции. Основным материалом для ее создания послужили животные с высокой степенью дифференциации тканевых структур [1]. Последовательность возникновения биоразнообразия удостоверена палеонтологическими данными, а синтетическая теория эволюции выявила механизмы его формирования на основе мутационного процесса и селекции. Она привела к представлению о микроэволюции как основе всех изменений. Расхождения в деталях, необходимость уточнений не меняют достоверности общей картины эволюции животных.

Позднее сложилась примерно такая же картина эволюции растений на основе изучения органов размножения — признака, используемого в формальной систематике растений [2, 3].

Если перейти от чисто биологических аспектов к геосферно-биосферным, то на первый план выходит развитие сообществ



Георгий Александрович Заварзин, академик РАН, заведующий отделом микробных сообществ Института микробиологии РАН. Основные научные интересы связаны с изучением многообразия микробных сообществ. Член редколлегии журнала «Природа» с 1982 г. Наш постоянный автор.

в их взаимодействии с ландшафтом как средой обитания. Целостное («физиономическое») восприятие ландшафта в первую очередь определяется растительным покровом, в котором разные группы растений несут свою функцию. Однако систематики разбивают эти группы соответственно принятым ими правилам.

Изучение природных систем опирается на функциональную роль их компонентов, а призна-

ки, определяющие их положение в таксономической системе, второстепенны. Здесь важна трофическая пирамида, начинающаяся с первичных продуцентов, на вершине которой находятся зоотрофные организмы — их взаимодействие со средой обитания в наибольшей степени опосредовано. Но оказывается, что привычная картина эволюции живого мира сложилась в результате анализа наиболее дифференцированных организ-

мов, история которых начинается с кембрия. Все, что было раньше трилобитов, находилось в области фантазий, близких филогенетическим построениям Э.Геккеля. Открытие живого мира венда Б.С.Соколовым и исследование его М.А.Федонкиным показали, что обнаруженные там организмы ближе всего к условной группе Parazoa (губки и подобные им животные).

Соотношение современности и истории, условно говоря — горизонтальных и вертикальных связей, не может быть решено только в пользу истории происхождения (филогении), которая описывает, почему компоненты сложились такими, а не иными, но не объясняет, каким образом они взаимодействуют в существующей системе. Взаимодействие требует единства места и времени, а прошлое только предоставляет исходный материал для организации системы по присущим ей правилам. Ее построение может происходить в свободном пространстве. Так, новая растительность после катастрофического события, уничтожившего ее предшественника, появляется уже в соответствии с изменившимся климатом или же путем замены выживших компонентов в существующей системе. Отсюда следует, что геосферно-биосферная система эволюционирует аддитивно с сохранением предшествующего как условия существования настоящего. Вместе с тем здесь видна четкая граница между возникновением группы организмов (важным для филогении) и ее распространением (важным для геосферно-биосферной системы).

Сопоставление биоты прошлых биосфер с современной показало, что представители большинства древних групп живут и процветают в настоящее время. Появилась возможность анализа на основе молекулярной филогении, изучающей нуклеотидные последовательности в информационных макромолекулах и реконструирую-



Пространство логических возможностей для бактерий и эвкариот. Три направления соответствуют трем основным способам питания: осмотротрофному, фототрофному, голозойному (хищному). Иногда соответствующие лопасти в пространстве логических возможностей трактуются таксономически как царства. Единство экологических возможностей предопределяет сходство в строении мицелиальных и трихомных организмов на разной цитологической основе. Это указывает на единое, в определенном отношении, пространство логических возможностей для прокариот и эвкариот.

щей по ним последовательность возникновения порядка. Для высших организмов этот подход уточнил результаты сравнительного анализа. Соотношение между филогенией и эволюцией для дотканевых организмов, бытие которых охватывает всю историю биосферы, видимо иное, чем для высших организмов, вписавшихся в биосферную систему, созданную их предшественниками.

В формировании биоразнообразия можно наметить, начиная от современности (сверху вниз), три основных этапа: филогенетическую последовательность на основе дивергенции для высших организмов; комбинаторную схему на основе интеграции геномов при эндосимбиозе; мозаику геномов для прокариот.

Происхождение растений

Филогения растений опирается на морфологию зеленых водорослей и морфологическую эволюцию Streptophyta (харовые и все наземные растения), с одной стороны, и на анализ геномов — с другой, которые в общем дают согласующиеся результаты.

Сейчас накапливается все больше свидетельств о том, что растения произошли от единого прازیнофитового предка, близкого *Mesostigma viride* [4]. Однако о происхождении мхов как первых наземных растений еще нет четкого мнения: одни биологи считают, что их предки печеночники, другие — что антоцеровые. По данным морфологии, ультраструктуры и молеку-

лярной филогении, и те, и другие могут быть кандидатами в основание наземных растений. Ведущую роль в морфогенезе растений играет ответственный за него блок генов (MADS), прослеженный у покрытосемянных, голосемянных, папоротников, харовых и соответственно определяющий традиционную морфологическую систематику.

Главные результаты молекулярного филогенетического анализа сводятся к следующим положениям: между харовыми и наземными растениями существуют тесные отношения, а между мхами и харовыми — парафилия (сходное развитие). Все наземные растения монофилетичны, т.е. имеют общего предка.

Чешуйчатую зеленую жгутиковую водоросль *Mesostigma* традиционно относят к празинофитовым зеленым водорослям, группе, парафилетичной двум ветвям зеленых растений Chlorophyta и Streptophyta. Она представляет первую ветвь Viridiplantae (Prasinophyceae, Chlorophyta s.s., Streptophyta), вероятно, раннюю ветвь эволюции стрептофит; *Charales* и *Coleochaete* — производные харофит; первые наземные растения либо антоцеровые, либо печеночники с двумя альтернативными возможностями для мхов. *Chaetosperidium*, род близкий к *Coleochaete*, имеет сестринские отношения к *Mesostigma*. И харовые, и *Coleochaete* близки к корню филогенетического дерева зеленых растений. Кандидат в первые мхи — *Takakia*, которая по молекулярно-филогенетическим данным близка сфагнам, находится в основании филогении собственно мхов.

По находкам тетрад спор в осадочных отложениях считают, что первые наземные растения появились в среднем ордовике (476 млн лет назад). Судя по отпечаткам корней, развитие корневой системы и изменение в скоростях субаэрального выветривания, наземный гидроло-

гический цикл, обмен газов с атмосферой за счет воздействия сосудистых растений сформировались между силуром и девонем (примерно 360 млн лет назад), а мощные корни деревьев обнаруживаются в девоне. Тогда же появились эндомикоризные грибы, образующие мощные «стволы» *Prototaxites* диаметром 69 см. Палеоботаники не сомневаются, что сосудистые растения внедрились в уже существовавшие наземные экосистемы с водорослями и бактериями (циано- и альгобактериальными матами), протистами, грибами, лишайниками. К девону же следует отнести время появления почвы как возобновляемого слоя. Переходный период заполняют мхи, образующие торфянистый очес. Молекулярные аспекты филогении растений недавно рассматривались в «Природе» [5].

В целом представления о филогении растений согласуются с дарвиновской системой последовательной монофилии и подтверждаются палеонтологической летописью, хотя имеются многочисленные уточнения. Монофилетическое происхождение указывает на достаточность исходного генетического материала для дальнейшего постепенного усложнения. Исходным пунктом эволюции растений служит небольшая группа зеленых водорослей.

Происхождение эвкариот

Происхождение эвкариот, представляющее центральное событие для преимущественно морфологической эволюции организмов, явно находится вне дарвинистской филогении. Эвкариоты появились около 1.5 млрд лет назад. Первоначально гипотеза эндосимбиогенеза, предложенная Л.Маргулис на основании цитологических данных, полностью подтвердилась молекулярно-биологическими исследованиями генома

протист («Protista») — одноклеточных и колониальных организмов без тканевого строения, послуживших критическим переходом к растениям (Metaphyta) и животным (Metazoa). Классификационные трудности возникают с грибами, но отсутствие тканевого строения и способность к дрожжеподобному росту позволяют отнести их к категории протист в широком смысле.

Протисты возникли комбинаторным путем, в результате ряда последовательных событий эндоцитобиоза, основанного на фаготрофном питании. При этом часть захваченных прокариот длительно сохранялась внутри клетки-хищника (это наблюдается у широкого круга протист вплоть до очень крупных и дифференцированных клеток инфузорий). Этапы трофических событий представляются как захват α -протеобактерии (предшественника митохондрий), обеспечивающей эффективный аэробный обмен; затем поглощение автотрофной оксигенной цианобактерии (прохлорофита — предшественника хлоропласта), приведшее к фотоавтотрофному питанию; и, наконец, их интеграция в едином организме. В последующих событиях объектом эндоцитобиоза стали уже эвкариотные клетки, предшественники пластид.

В результате возникла комбинаторная система таксонов с параллельными рядами морфологического усложнения. Она хорошо прослеживается на красных, бурых, зеленых водорослях и бесспорно свидетельствует о полифилетическом происхождении протист. Параллельные ряды усложняющихся форм говорят о единых законах дифференциации, не зависящих от генетического родства (в отличие от гомологических рядов Н.И.Вавилова). События, приведшие к возникновению протист, безусловно относятся к явлениям макроэволюции, и их нельзя объяснить через микроэволю-

цию, составляющую основу дарвинистского представления о развитии живого мира (макроэволюция вообще отрицается дарвинистами). Употребление термина «эволюция» здесь не вполне корректно, поскольку речь идет о филогении — последовательности происхождения, генеалогии.

Строго говоря, эвкарриотная клетка — это комбинаторная химера, образованная из конгломерата клеток (двух у животных, трех, четырех и даже пяти у растений) в результате встраивания одноклеточных организмов в протоэвкарриотные или эвкарриотные клетки-организмы. Эти агрегаты наследуют способ питания (трофию) от исходных прокариот, формируют свой собственный обмен веществ и пути наследственного закрепления свойств. Поскольку для происхождения грибов и животных необходимо меньше симбиогенетических событий, их можно считать более примитивными предшественниками растительной ветви.

Протозоологи скептически относятся к филогенетическим деревьям, построенным по гену рДНК, поскольку вместо последовательных ветвлений дерева получается огромный «неразрешенный» кустарник, гигантская мультифуркация. При этом ветви, находящиеся в основании дерева, наиболее сомнительны. Вообще построить дерево эвкарриот в форме последовательных ветвлений довольно проблематично. Вместе с тем многие отдельные группы протист имеют общего предка. Но анализ по множеству генов дает плохо согласуемую картину [6]. Митохондрии и пластиды ведут свое начало от эндоцитобионтов скорее всего монофилетически для каждой органеллы и, следовательно, наследуют от своих предков только два способа питания. Однако нельзя утверждать, что клетка-хозяин была одной и той же во всех случаях симбиогенеза и что сам хозяин не сформировался тем же путем.

Эмпирический факт заключается в том, что **не существует эвкарриота, возникшего без предшествующего эндосимбиоза**. Вероятно, проэвкарриот, так до сих пор и не найденный, уже был химерой, но еще не обладал сложной структурой [7]. Похожие особенности строения клетки есть у прокариот, относящихся к планктомицетам (*Planctomycetales*). Эта многочисленная (но мало изученная из-за трудностей культивирования) группа прокариот имеет мембрану вокруг нуклеоида и белковую клеточную стенку. Хотя планктомицеты находят преимущественно около органических частиц, нет никаких намеков на их способность к фагоцитозу.

Эндосимбиотическое возникновение эвкарриот предполагает полуавтономное существование митохондрий, хлоропластов и пластид, которые сохраняют часть своего генетического аппарата. В этом случае неясно, почему нет протист только с хлоропластом: ведь его предшественник, цианобактерия, в полной мере автономна. Не было ли функционирование митохондрий в клетке обязательным предварительным условием для удаления кислорода, продуцируемого в оксигенном аппарате фотосинтезирующей клетки?

Третичный и четвертичный эндосимбиоз широко наблюдается в мире протист и паразоа (Parazoa) с разной степенью автономности симбионтов. Так, из клеток фораминифер, губок или кораллов можно выделить некоторые фототрофные симбионты. Имеются разные градации симбиоза, но где граница между эндосимбиозом и эвкарриотизмом?

По мнению Форда Дулитла, в результате «реструктуризации генетического материала первоначального конгломерата клеток появляется новая биологическая единица — эвкарриотная клетка. Она отличается интегрированным генетическим

аппаратом, в котором взаимозависимость между органеллами гораздо сильнее, чем при простом сосуществовании. В ней ни одна из генетических органелл (экзогеносом), включая ядерно-цитозольное пространство, более не способна к самостоятельной жизни» [8]. Значит, представление о полуавтономности компонентов эвкарриотной клетки ложно, поскольку не отражает степени интеграции.

Появление эвкарриотизма основано на перераспределении генетического материала между составными частями и превращении генома эвкарриотной клетки в мозаику генов как в ядре, так и в органеллах. В высокой степени эта мозаичность складывается из трех потенциальных источников: архебактерий, протеобактерий, цианобактерий. Одновременно из геномов органелл удаляется дублирующий и ненужный материал, при этом 80% генетической информации исходных симбионтов теряется. В результате формируются мозаичная структура генома и интегрированный геном эвкарриот. Это отражается в их таксонах и предполагает комбинаторную матрицу, внутри которой можно построить много диагностических деревьев, имитирующих путь исторического развития. Таким образом, возникновение эвкарриотизма внутри самостоятельной клетки-организма обусловлено латеральным переносом генов внутри одной клетки с множественными регуляторными связями при создании новой единой системы из комбинативного материала, уже непригодной для расчленения, как это возможно при симбиозе.

Только после выключения части генома, обеспечивающей автономность компонентов, произошел переход от колонии к истинной многоклеточности, критерием которой служит тканевое строение. Клетки дифференцируются и перестают быть аналогами клетки-организма протист, даже объединенных в колонии

или многоядерных. Эволюция тканей контролируется общими законами морфологической дифференциации, установленными на основании принципа параллелизма [9] и прослеженными у разных групп тканевых организмов. Появление тканей резко ограничивает обмен генетической информацией внутри организма. Эту функцию выполняет система полового воспроизведения, которая обеспечивает гетерофобию и сохраняет единство и постоянство вида. Лишь в некоторых случаях клетки, в особенности у паразита (*Parazoa*), способны превращаться в целый организм.

Переходя от филогении к эволюции, нужно признать, что интегрированное строение эвкариот, несмотря на потерю ряда возможностей, дало большие преимущества. Среди эвкариот анаэробы и экстремофилы обнаруживаются лишь как вторичные вселенцы, демонстрируя сужение базы жизни по мере усложнения строения. Эвкариоты развиваются в более узком диапазоне мест обитания, а в биосферном масштабе их жизнь невозможна вне прокариотной биосферы и сформированных ею условий и круговорота веществ.

Обычно эволюционную предпосылку для распространения эвкариот усматривают в появлении кислородной атмосферы. Это утверждение справедливо, но неполно. Для существования эвкариот необходима полная биогеохимическая, катализируемая прокариотами, система, в которой они выполняют лишь часть функций. В качестве реликтовой экосистемы, соответствующей состоянию биосферы и биоты в прошлом (прокариоты плюс протисты), скорее всего можно назвать современный олиготрофный океан с наннопланктоном цианобактерий и прохлорофит, с бактериопланктоном из архей и бактерий. Микропротисты здесь выполняют функцию главных консументов.

Филогенетический (генеалогический) подход к объяснению всех особенностей, исходя из истории происхождения, представляет вековое заблуждение. Для генетического взаимодействия так же необходимо единство во времени и пространства.

Биоразнообразие прокариот

Перенос генов можно рассматривать как механизм создания комбинаторной генетической системы у прокариот, который принципиально отличен от полового процесса более сложных организмов. Во-первых, перенос генов не входит в их нормальный жизненный цикл, хотя реализуется в периоды определенного состояния (компетентности) клетки-реципиента. Во-вторых, частота переноса обычно крайне низкая: в природных условиях 10^{-8} – 10^{-9} , а в лаборатории возможна до 10^{-1} – 10^{-3} . Такая низкая частота, контролируемая рестрикцией (разрывами ДНК), обеспечивает прокариотным видам длительное существование. В-третьих, при переносе генетического материала одновременно передаются лишь небольшие локусы. В-четвертых, этот процесс совершенно не ограничен таксономическими рамками и возможен даже между археями и протеобактериями. Значит, критерий генетической изоляции вида для прокариот приобретает совсем иное звучание, чем для высших организмов.

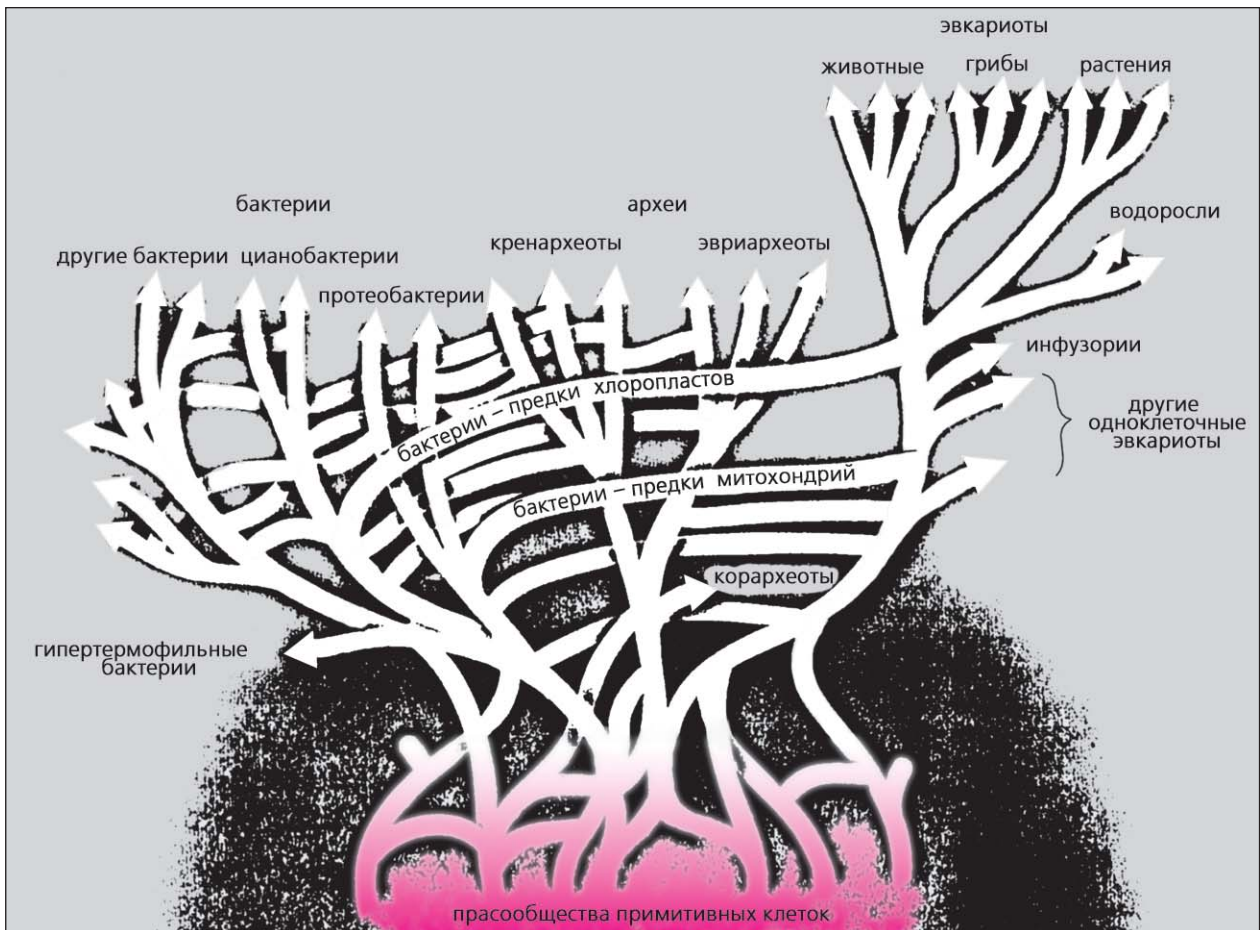
Молекулярно-генетический анализ доказывает, что геномы прокариот представляют собой мозаику приобретенных генов, которые можно обнаружить в разных ветвях филогенетического дерева, построенного по рибосомальным генам (по этому признаку строится современная филогенетическая система прокариот). Таким образом, конечный результат, наблюдаемый сегодня на микроорганизмах, ясно указывает на

мозаичную или комбинаторную структуру. Полный анализ геномов доказал, что объяснить сходство генов в разных ветвях дерева можно, только признав концепцию латерального (горизонтального) переноса. В настоящее время поиск последовательностей, соответствующих определенным генам, проводится во множестве лабораторий с разными объектами.

Экспериментальное доказательство латерального переноса генов в природных условиях ограничивалось в первую очередь легко определяемыми генами. Тем не менее сейчас ясно, что этот процесс не лабораторный артефакт или сюжет генетической инженерии, а природное явление, которое включает три механизма: трансформацию, конъюгацию*, трансдукцию**. Трансформация — нормальная физиологическая функция у некоторых бактерий, имеющих соответствующие гены (как у штаммов *Vibrio* с высокой частотой трансформации). Она зависит от состояния компетентности (наивысшей в фазе роста) у клеток-реципиентов. Трансдукция с участием вирусов ограничена видоспецифичностью векторов и их малой вмещающей способностью. Вместе с тем вирусы и фаги широко распространены в природе и защищены от рестрикции. Наблюдаемая частота трансдукции в озерах составляла 10^{-7} . Вирусоподобные частицы с широкой специфичностью могут оказаться важными для латерального переноса. Конъюгация имеет наименьшее число ограничений для межтаксонного обмена ге-

* Конъюгация (от лат. *conjugatio* — соединение). У водорослей и низших грибов — форма полового размножения, при котором сливается содержимое двух безжгутиковых клеток; у инфузорий — половой процесс, при котором две особи соединяются временно; у бактерий — один из способов переноса генетического материала от «мужской» клетки (донора) к «женской» (реципиенту). — *Прим. ред.*

** Трансдукция (от лат. *transductio* — перемещение) — передача генетического материала посредством бактериофагов. — *Прим. ред.*



Дерево жизни Форда Дулитла. Древоподобная структура эвкариотной кроны подтверждает, что группы организмов получили свои митохондрии и хлоропласты от бактерий. Граф показывает также отношение сети между ветвями, которая скорее напоминает мицелий гриба, чем дерево. Эти связи символизируют перенос отдельных или многих генов между одноклеточными организмами. Кроме того, данное дерево не имеет общего предка в виде одной клетки. Три больших первоначальных царства, вероятно, возникли из сообщества примитивных клеток, отличающихся своими геномами [10].

нетической информацией, но предполагает тесный физический контакт между организмами, легче всего достижимый в биопленках. Для *Pseudomonas putida* удалось продемонстрировать перенос зеленого флуоресцирующего белка с частотой от $2 \cdot 10^{-6}$ до $1.4 \cdot 10^{-4}$ по флуоресценции без культивирования.

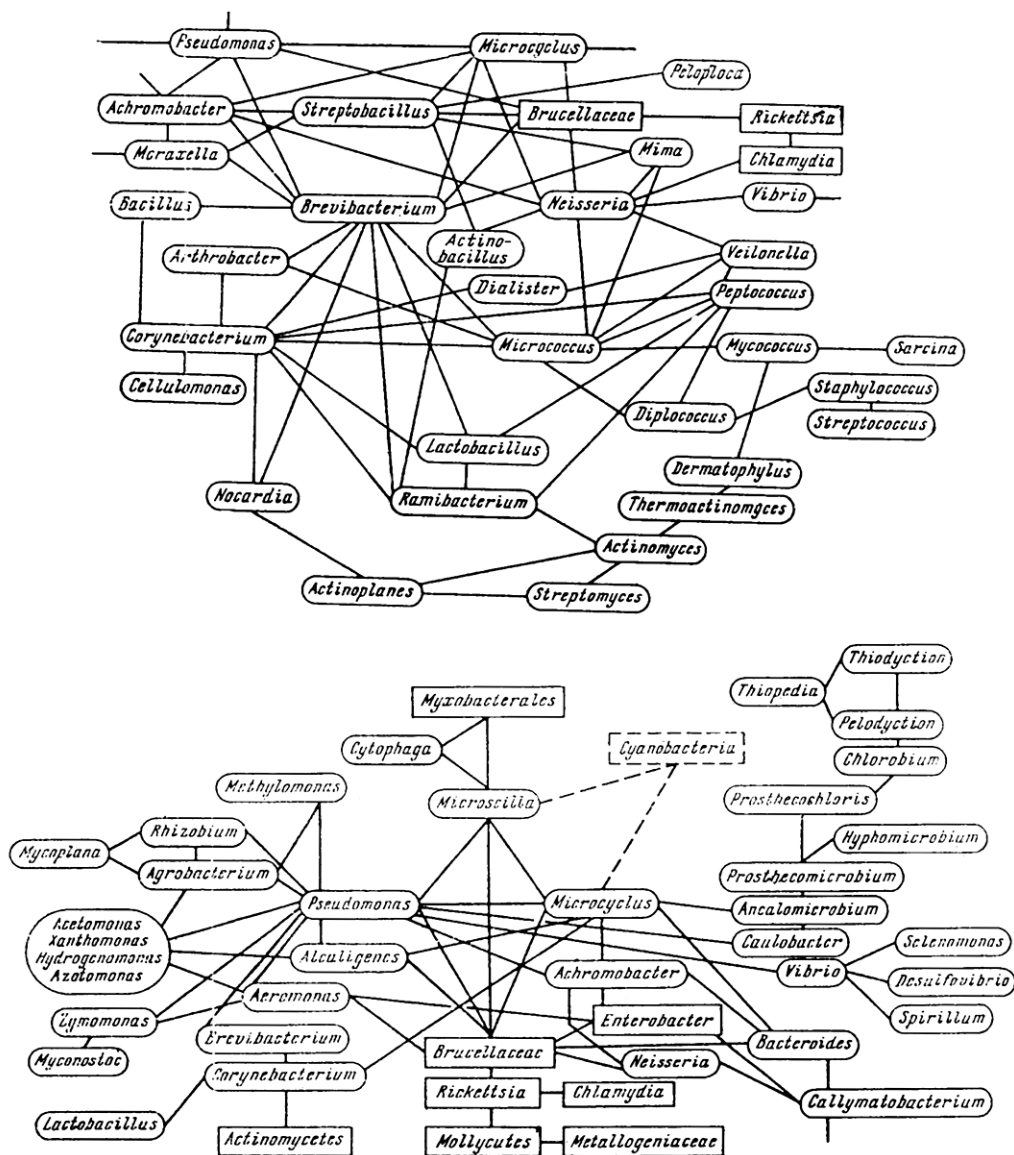
Геном бактерий представляет мозаику из предковых хромосомных генов и некоторых включенных оперонов, кодирующих периферические функции. Вероятно, на ранних этапах эволюции организмы переносили гены с пищей или обме-

ниваясь ими с соседями. Общие гены установлены для бактерий, архей, эвкариот. Форд Дулитл, с именем которого связана идея об определяющей роли латерального переноса в генетической эволюции, сформулировал эти представления лозунгом: «Вы то, что вы едите» [10].

Как считает генетик бактерий М.Пауль, «ввиду всех свидетельств латерального переноса генов, фокус внимания сейчас, вероятно, должен быть направлен не на вопросы: “Происходит ли перенос генов?” и “Какие гены представляют результат латерального переноса?”, но на

вопрос: “Что препятствует переносу некоторых локусов?”». Это вопрос о механизмах гетерофобии как универсального свойства систем, необходимого для их сохранения.

То, что функциональная (фенотипическая) систематика бактерий не дерево, а сетка комбинаций признаков, установлено давно. Структура этой сетки определяется запрещением некоторых комбинаций, создающим «пространство логических возможностей» для реализации определенных групп организмов, близких по своим функциональным свойствам «фундаменталь-



Отношения между морфо-физиологическими родами бактерий (вверху — грамположительными, внизу — грамотрицательными), отражающие их функциональное разнообразие. Линией соединены роды, отличающиеся на один признак-дескриптор родового ранга. В результате получается комбинаторная сетка, но не филогенетическое дерево. Такая картина исключает представление об эволюции бактерий, как последовательности физиологических типов (например, от гетеротрофов до фотоавтотрофов).

ным экологическим нишам» [11]. Объяснить возникновение такой структуры мог только латеральный перенос генов, однако генетики рассматривали его как «запрещенный вариант». С тех пор знания о биоразнообразии бактерий необычайно расширились и многие отсутствовавшие в статистике комбинации свойств у множе-

ства бактерий нашли своих хозяев, особенно среди фототрофных прокариот и анаэробов.

Общая картина происхождения живого мира свидетельствует, что на главных этапах развития действует правило «бутылочного горла» или отбора одного варианта из имеющихся.

Современные представления о макроэволюции можно распределить по следующим этапам.

Растения монофилетичны и реализовались из одной-единственной комбинации признаков у одноклеточного протиста *Prasinophyta* с последующим постепенным усложнением до харовых водорослей и выходом на

сушу. Из вариантов, расположенных у основания филогенетического дерева, возникли сосудистые растения, которые составляют ствол дерева и служат определяющим фактором эволюции биосферы в субаэральной среде.

«Protista» — это комбинаторная сетка таксонов, образованная комбинацией целых организмов из немногих симбионтов, которые, потеряв часть своих геномов, сумели встроиться в единый организм. Митохондрии и хлоропласты эукариотной клетки имеют монофилетическое происхождение, каждый от единственного вида прокариот. Пластиды, возможно, полифилетического происхождения. Следовательно, и здесь работает принцип выбора немногих вариантов из многих. В целом же протисты бесспорно полифилетичны, и их таксоны возникли в результате макроэволюционных событий по комбинаторным закономерностям, за которыми последовала микроэволюция в направлении последовательного усложнения.

Широкий генетический обмен превращает геном прокариот в мозаику, а систему таксонов — в комбинаторную сетку по функционально значимым свойствам. В отличие от протистов, для которых организмы необходимы как исходный комбинаторный материал, для прокариот важен общий пул генов. Филогенетическое родство геномов, устанавливаемое на основе сходства нуклеотидных последовательностей, позволяет упорядочить это множество. Но при такой классификации не учитываются функциональные свойства таксонов. Например, у цианобактерий фенотипическая систематика, построенная на морфологических признаках, совершенно не согласуется с молекулярно-биологической. В результате олигонуклеотидные пробы, позволяющие достоверно установить положение объекта на филогенетическом дереве, пока почти ничего не могут сказать о функциях в природном сообществе. Наличие гена в пробе еще не позволяет судить о его действии в системе. Скорее это можно выяснить, ис-

пользуя при культивировании организмов индикаторные среды, имея те же логические ограничения для конечного вывода. Для функционального анализа приходится определять активность процесса.

Последовательные этапы в истории биоты датируются широкими временными переходами от возникновения к доминированию. Для протист это время неопротерозойской революции, для многоклеточных — венд, для растений — силур-девон. Эволюцию биоты как поэтапное усложнение правильнее представлять в виде пирамиды, а не ветвящегося дерева. При этом, с одной стороны, вырастают функции у более сложных организмов, а с другой — каждый последующий ряд опирается на созданную предыдущим систему отношений в биосфере, поскольку при своем возникновении он вписывается в нее. Функциональная система прокариот полна и достаточна для автономного существования, а также для катализа сопряженной системы биогеохимических циклов. ■

Литература

1. Заварзин А.А. Сравнительная гистология. СПб., 2000.
2. Мейен С.В. Основы палеоботаники. М., 1987.
3. Kenrick P., Crane P.R. // Nature. 1997. V.389. P.33—39.
4. Bhattacharya D. // J. Phycol. 2000. V.36. P.798.
5. Антонов А.С. Геномика и геносистематика // Природа. 1999. №6. С.19—26; Он же // Российская наука на заре нового века. 2001. С.224—233.
6. Карпов С.А. Система протистов и проблемы их мегасистематики // Протисты: руководство по зоологии. СПб., 2000. С.121—137.
7. Herrmann R.G. Eukaryotism, towards a new interpretation. Eukaryotism and symbiosis. Intertaxonomic combination versus symbiotic adaptation. Berlin, 1997. P.63—116 / Eds H.F.A.Schenk, R.G.Herrmann, K.W.Jeon et al.
8. Ford Doolittle W.F. Some aspects of the biology of cells and their possible evolutionary significance // Evolution of Microbial Life / Eds D.McL.Roberts, P.Sharp et al. Cambridge, 1996. P.1—21.
9. Заварзин А.А. Труды по теории параллелизма и эволюционной динамике тканей. Л., 1986.
10. Ford Doolittle W.F. // Trends Genet. 1998. V.14. P.307—311
11. Заварзин Г.А. Пространство логических возможностей в многообразии бактерий и их филогения // Природа. 1979. №6. С.9—19.

Экологические проблемы и экономическая целесообразность

Проблема глобального потепления на Земле не перестает волновать научную общественность. Отправная точка представляемых вниманию читателей материалов — недавний выход США из Международного соглашения по ограничению выбросов парниковых газов, «ответственных» за повышение температуры в атмосфере (Киото, 1997). Но здесь затрагивается самый широкий круг проблем — от перспектив движения к более экологически безопасному миру до динамики народонаселения. Редакция надеется в дальнейшем продолжить обсуждение этих важных вопросов.

Кризис Киотских соглашений и проблема глобального потепления климата*

В.Л.Иноземцев

Президент США Дж.Буш 13 марта 2001 г. объявил, что США выходят из договоренностей по сокращению вредных выбросов в атмосферу, достигнутых на международной встрече глав государств и правительств в японском городе Киото осенью 1997 г. Учитывая, что на Соединенные Штаты приходится в настоящее время большая, чем на любую другую страну, доля подобных выбросов и их отношение к Киотскому протоколу может разрушить все достигнутые в его рамках договоренности, многие экологические организации поспешили заявить, что решение Буша перечеркнет все достижения



Владислав Леонидович Иноземцев, доктор экономических наук, директор Центра исследований постиндустриального общества, заместитель главного редактора журнала «Свободная мысль». Сфера научных интересов — теория постиндустриального общества, современная мировая экономика и международные экономические отношения, проблемы глобализации, социальные проблемы современных западных обществ и стран третьего мира и др.

* Полный текст статьи будет размещен на интернет-сайте www.postindustrial.ru

последних лет в противостоянии процессу глобальных климатических изменений. Озабоченные этим шагом американской администрации, как и многие люди во всем мире, мы тем не менее хотели бы попытаться без лишних эмоций оценить перспективы процесса движения к более экологически безопасному миру.

На пути к катастрофе?

Вторая половина XX в. ознаменовалась для стран Запада миром и процветанием, но не принесла благоденствия населению других регионов планеты и оказалась периодом, на протяжении которого впервые в истории экологические проблемы стали не менее актуальными, чем политические и экономические.

Современная социально-экономическая реальность, к сожалению, такова, что существуют десятки проблем, и в их числе, несомненно, экологические, актуальность которых совершенно по-разному воспринимается на постиндустриальном Западе и в странах третьего мира. Многие из этих проблем, угрожающих человечеству в планетарном масштабе, в значительной мере порождаются сегодня экономикой, политикой и социальными традициями самих развивающихся стран.

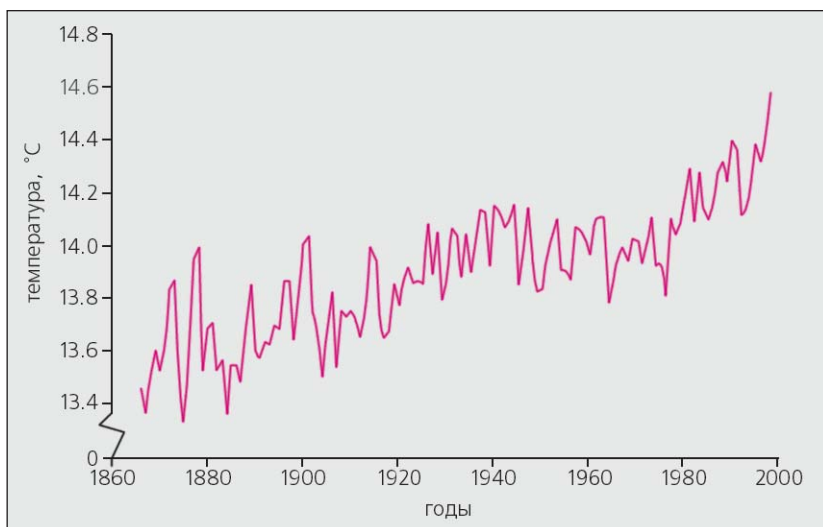
На протяжении последних десятилетий здесь в буквальном смысле слова истребляется лесной покров Земли. Если с 1850 г. на планете вырублено 7.7 млн км² лесов (сохранившаяся их площадь оценивается в настоящее время в 40 млн км²), то около трети лесных площадей уничтожено лишь в трех странах — Бразилии, Китае и Индонезии, причем только за последние тридцать лет. Характерно, что ни в одном из этих государств заготовка леса не имеет существенного значения для национальной экономики: в Бразилии весь регион Амазонии

обеспечивает не более 5% валового национального продукта; Китай, где вырубка лесов на 40% и более превышает значения, предельно допустимые для поддержания их самовоспроизводства, лишился трех четвертей лесных массивов за послевоенный период и в последние десятилетия ориентирован на развитие промышленности; Индонезия же, ставшая «мировым лидером» по темпам потери лесного покрова (1.4% общей площади ежегодно), также не получает от такой эксплуатации природных богатств ощутимых экономических выгод. В большинстве развивающихся стран не предпринимается никаких серьезных мер для исправления положения — напротив, до недавних пор правительство Бразилии выделяло субсидии колонистам, уничтожавшим леса в обживавшихся ими новых районах, считая это фактором ослабления социальной напряженности в больших городах.

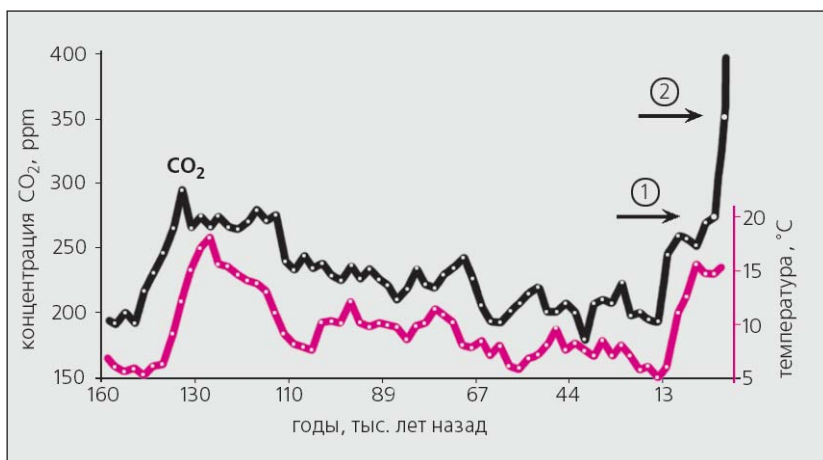
Стремясь хоть как-то поправить свое критическое экономическое положение, страны третьего мира пренебрегают не только природоохранными мероприятиями как таковыми, но и элементарными принципами использования экосистем. Так, в Китае с 1957 по 1990 г. было утрачено почти 15% всех сельскохозяйственных угодий, а посевные площади в расчете на душу населения сократились вдвое. Начиная с 1970 г. в Африке, Америке и Азии площадь пустынь увеличилась на 120 млн га. Сегодня в странах Африки, расположенных к югу от Сахары, две трети (по другим данным — 80%) обрабатываемых площадей находятся в столь деградированном состоянии, что непригодны для сельского хозяйства. К тому же из-за того, что до 40% удобрений расходуется впустую, а орудия труда остаются примитивными, африканский крестьянин в среднем выращивает не более 600 кг зерновых в год, тогда как американский фермер — не менее 80 т.

Тяжкие условия жизни в развивающихся странах и низкий уровень культуры населения приводят к гуманитарным катастрофам, в том числе — к нарастающим эпидемиям инфекционных заболеваний, в частности СПИДа. Открывшаяся 25 июня 2001 г. в Нью-Йорке сессия Генеральной Ассамблеи ООН впервые в истории была посвящена именно этой проблеме. Если в конце 1997 г. количество ВИЧ-инфицированных составляло 30 млн человек во всем мире, то сегодня только в экваториальной и южной частях Африки их насчитывается 25 млн. Пять лет назад исследователи прогнозировали, что к 2000 г. в ряде африканских стран может быть инфицировано 8—10% населения; действительность превзошла эти тревожные прогнозы: сегодня в ЮАР, Замбии, Зимбабве и Намибии доля инфицированного взрослого населения превысила 20%, а в Ботсване составила 36%. Ожидаемая средняя продолжительность предстоящей жизни вернулась в этих странах на уровень начала 50-х годов.

На нашей памяти ряд гуманитарных катастроф разразился исключительно по вине политиков. В Судане одной из важнейших причин чудовищного голода, поражавшего страну в 1989, 1994 и 1998 гг., была непрекращавшаяся гражданская война, унесшая в течение 15 лет более чем 1.5 млн человек. В Эфиопии, испытавшей в 90-е годы неоднократные засухи и голод, в течение долгих лет также шла междоусобица, потребовавшая от правительства содержания 300-тысячной армии, в то время как вымирали целые земледельческие районы. Наиболее впечатляющий пример из этого ряда — межэтнический конфликт в Руанде, стоивший жизни около 1.5 млн человек во второй половине 90-х годов. Более кровопролитной эпопеи мир не знал, пожалуй, со времен полпотовского правления в Камбодже.



Средняя глобальная температура земной поверхности (1866—1998). (Источник: Goddard Institute for Space Studies. French H. Vanishing Borgers. Protecting the Planet in the Age of Globalization. N.Y.; L., 2000. P.93.)



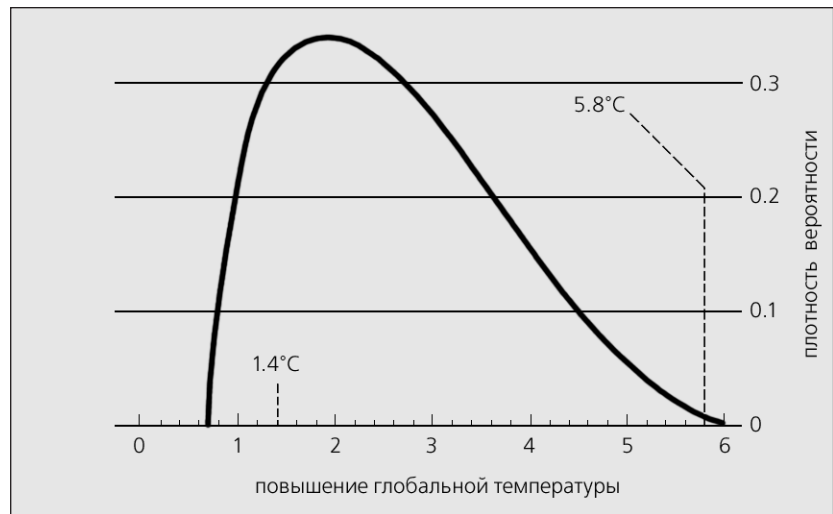
Реконструкция колебаний содержания CO_2 и средней глобальной температуры земной поверхности (160 тыс. лет назад — 2100 г.). Стрелками отмечены точки на графике, в которых содержание CO_2 составляло 280 ppm (1), что соответствовало началу индустриальной революции, и 353 ppm (2), отвечающее современному периоду, когда концентрация CO_2 вследствие производственной деятельности человечества превысила предыдущий максимум. (Источник: Global Common Institute, London. Weizsäcker E.U. von. Earth Politics. Foreword by the President of the Club of Rome. L.; New Jersey, 1994. P.43.)

По-видимому, нет особой необходимости подробно сравнивать эту ситуацию с положением дел в развитых странах. Достаточно отметить, что в США с 1990 по 1995 г. впервые в истории увеличилась площадь лесов, в странах ЕС все более активно развиваются методы сельского хозяйства, вообще не предусматривающие использования химических удобрений, количество ВИЧ-инфицированных на Западе незначительно (по состоянию на конец 1997 г. 268 тыс. человек, или 0.1% населения, в США и 194 тыс., или 0.55% населения, в 15 странах ЕС). Однако, помимо упомянутых процессов, локализованных в основном в пределах третьего мира, существует проблема, зачастую оцениваемая даже как более грозная — глобальное потепление климата.

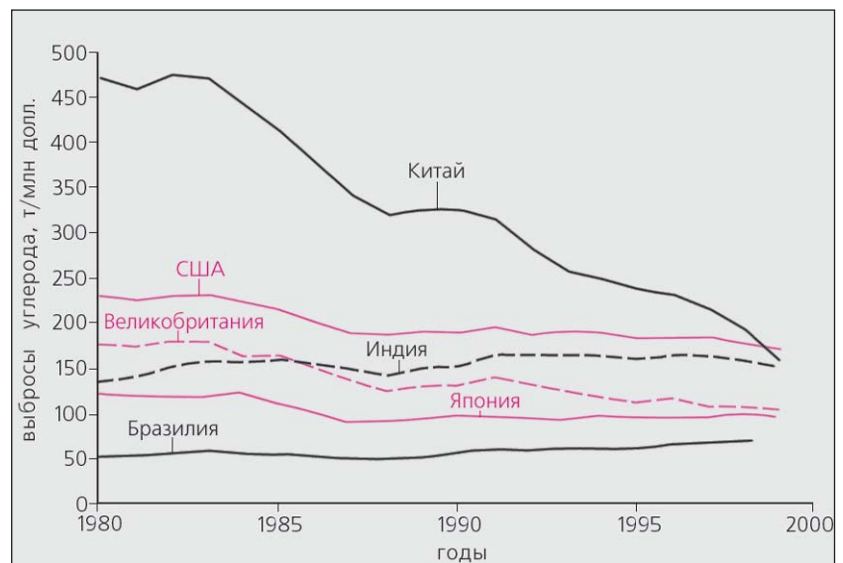
Впервые серьезное внимание к ней было привлечено в конце 50-х годов, когда в США и странах Европы были начаты специальные исследования в этой области. Обобщая накопленные к настоящему времени результаты, можно отметить ряд твердо установленных фактов и тенденций. На протяжении последних 200 лет содержание углекислого газа (CO_2) в атмосфере Земли стабильно нарастает: если в доиндустриальную эпоху оно не превышало 280 объемных частей на миллион (ppm), то сегодня достигает 370 ppm и имеет тенденцию к росту приблизительно на 1.5 ppm/год. Концентрация CO_2 в атмосфере, измеряемая в лабораториях, расположенных в далеких от индустриальных центров районах, выросла на 13% с 1960 по 1995 г. Следствием этого процесса считают увеличение средней температуры поверхности Земли на 0.5°C за последние 100 лет. Согласно многим прогнозам, подобная тенденция способна сохраниться и в будущем; более того, специалисты сходятся в том, что темпы потепления могут нарастать. Так, если в 1996—1997 г. большинство

оценок повышения температуры земной поверхности к 2100 г. варьировало в пределах 1–3.5°C, то в последнее время считают, что она увеличится на 1.4–5.8°C, наиболее вероятно ее повышение на 2.5°C. При кажущейся несущественности этой величины речь идет тем не менее о радикальном изменении климатических условий, способном серьезно осложнить жизнь сотням миллионов людей. Средства массовой информации полны примерами климатических аномалий: в мае 1998 г. около 2500 человек скончались в Индии из-за небывалой за 50 лет жары; в июле 2000 г. почти пятая часть территории греческого острова Самос была выжжена пожаром, начавшимся из-за рекордно высокой температуры воздуха, и т.д. Между тем все это не идет ни в какое сравнение с теми последствиями, которые могут быть вызваны таянием арктических, антарктических и континентальных льдов и подъемом уровня океанических вод. При повышении к 2100 г. средней глобальной температуры на 5.8°C он может подняться на 88 см, а это значит, что будет затоплена большая часть территории таких стран, как Бангладеш и Нидерланды, вся дельта Нила, Мальдивские о-ва, а также значительная часть прибрежных районов Флориды и Луизианы.

Не возникает сомнения в том, что основную ответственность за выброс в атмосферу парниковых газов несут промышленно развитые страны, в особенности США. Сегодня здесь ежегодно вырабатывается 5.48 т CO₂ на душу населения, в то время как в Германии — 2.77 т, в Великобритании — 2.41 т, а во Франции — 1.59 т. В целом с 1950 г. США выбросили в атмосферу 186.1 млрд т CO₂, тогда как страны ЕС — 127.8 млрд т, СССР (ныне Россия, страны СНГ и Балтии) — более 100 млрд т, а Китай — 57.6 млрд т. Весьма большие масштабы эмиссии CO₂ в развитых странах продол-



Распределение вероятностей повышения глобальной температуры к 2090–2100 гг. по сравнению с 1990 г. Площадь под кривой равна единице. Пунктирными линиями отмечены наименьшее и наибольшее вероятные значения повышения температуры 1.4° и 5.8°C, согласно данным Межгосударственного совета по изменению климата. (Источник: Uncertainty Analysis of Global Climate Protection. The Economist, April 7–13th. 2001.)



Выбросы углерода (тонн на 1 млн долл. валового национального продукта) некоторыми развитыми (цвет) и развивающимися странами. (Источник: ORNL BP Amaco World Watch Institute, State of the World. Report on Progress Toward a Sustainable Society. N.Y.; L., 2001.)

жают расти: в 1994—1996 гг. прирост населения США, составлявший в абсолютном выражении (2.6 млн человек в год) менее 1/6 прироста населения Индии (17 млн в год), обеспечивал вдвое большую нагрузку на окружающую среду; при этом общий объем эмиссии CO₂ в США вырос с 1991 по 2000 г. на 15%. В последнее время сторонники все более радикальных мер по защите природы не уставали напоминать, что США, обладая лишь 4% мирового населения, ответственны более чем за 25% выброса парниковых газов в атмосферу. Однако нельзя не заметить, что ныне ситуация меняется, и все более активную роль в загрязнении окружающей среды начинают играть развивающиеся страны. Если в 1970 г. на долю развивающихся стран Азии приходилось лишь 7% мировых выбросов CO₂, то в 1990-м — уже 22%, и, по прогнозам, эта доля к 2010 г. может достичь 30%. Необходимо иметь в виду, что более корректно соотносить объемы загрязнений не с населением той или иной страны, а с ее вкладом в мировое промышленное производство, и в этом случае цифры окажутся существенно отличными от приведенных выше. В середине 90-х годов США, на долю которых приходилось 27% мирового промышленного производства, выбрасывали 25% CO₂, для Германии эти показатели составляли соответственно 8 и 4%, Японии — 17 и 5%. Иная картина в развивающихся странах: Индонезия при доле в мировом производстве 0.7% выбрасывала 1% CO₂, для России эти показатели составляли 2 и 7%, для Китая — 2 и 13%. Более того, если объем мирового валового продукта вырос с 1950 по 2000 г. в 6.4 раза, то выбросы CO₂ в атмосферу — всего в 3.75 раза. Но при этом объем эмиссии в Индии вырос в 10, а в Китае более чем в 30 раз.

Таким образом, борьба за предотвращение глобального потепления стала к концу XX в.

всеобщей заботой, и все государства планеты оказались, с одной стороны, причастны к этой проблеме, с другой — заинтересованы в ее разрешении. В результате всеобщие договоренности в данной области не могли не оказать на повестке дня.

Что же произошло в Киото?

Международные конвенции по охране окружающей среды ведут свою историю с 20-х годов, и многие из них были достаточно эффективными. Заключенное в 1946 г. соглашение о запрете промысла китов сократило их вылов с 66 до 1.5 тыс. в год за последние 40 лет, международный договор об Антарктиде от 1959 г. и дополняющий его протокол от 1991 г. запретили разработку полезных ископаемых этого континента до 2040 г.; истребление слонов в Африке резко сократилось после того, как в 1990 г. был наложен запрет на коммерческую торговлю слоновой костью; наконец, за 13 лет, прошедшие с подписания Монреальского протокола о запрещении производства озоноразрушающих веществ, их выпуск в мире сократился в семь раз. Как следствие — значительно расширилась практика заключения договоров в области охраны окружающей среды: три четверти от их общего числа подписаны за последние 17 лет.

В подобной ситуации ожидание, что заключение всеобщего договора о сокращении вредных выбросов в атмосферу принесет заметные плоды, казалось вполне обоснованным. В 1992 г. на Всемирном совещании по проблемам окружающей среды в Рио-де-Жанейро принята рамочная конвенция об изменении климата, подписанная представителями 180 государств. Встреча в Киото в декабре 1997 г. продолжила про-

цесс, начатый в Рио, и закончилась подписанием Киотского протокола.

Итак, что же произошло в Киото и каков был путь, приведший к этому соглашению? В конце 80-х годов ряд развивающихся стран выступил с инициативой, которую в определенном смысле слова можно сравнить с идеей так называемого нового мирового экономического порядка, выдвинутой развивающимися странами в 70-е годы и сводившейся в сущности к попытке шантажа западного мира со стороны поставщиков натурального сырья. В новых условиях призыв развивающихся стран (в первую очередь Индии) спекулировал на переживавшем подъем экологическом самосознании граждан западных стран и сводился к предложению установить для каждой страны лимит выбросов CO₂ и других вредных газов соответственно ее доле в мировом народонаселении. Тем самым Индия получила бы возможность на международном уровне закрепить свое право увеличить объемы эмиссии подобных газов в 25 раз; реализация такой возможности привела бы к выбросу Индией в 1990 г. 17.5 млрд т парниковых газов, в то время как общемировой объем их ежегодной эмиссии не превышал 22 млрд т. Вряд ли такое предложение можно было назвать прогрессивным; единственным его позитивным последствием стала бы, по мнению развивающихся стран, торговля квотами на выбросы: те государства, у которых их объем был выше среднего, должны были либо сократить его, либо купить право на продолжение своей промышленной деятельности у стран, не добравших до среднего показателя. Учитывая тот факт, что даже самые современные технологии позволяют устранять из отходов производства и выбрасываемых газов не более двух третей N₂O и трех четвертей CO₂ и SO₂, развивающиеся страны рассчитывали получить пра-

во на беспрепятственное повышение своих (пока еще низких в расчете на душу населения) выбросов, а заодно и дотации от западных стран (которые вообще устранили бы в третьем мире любую мотивацию к осуществлению природоохранных мероприятий).

Естественно, западные государства вряд ли могли согласиться с такой постановкой вопроса. Документ, подписанный в Рио, содержал призыв к индустриально развитым странам (но не обязывал их) сократить масштабы выбросов N_2O и CO_2 к 2000 г. до уровня, ниже достигнутого в 1990-м, или по крайней мере до соответствующего ему. Была продекларирована приверженность принципу квот, но основную часть итогового документа составляли лишь общие заверения участников об их стремлении бороться за более безопасную среду обитания человека. Киотский протокол был призван конкретизировать эти абстрактные формулировки, и в определенной мере он достиг этой цели. Представители 55 государств, подписавшие его, согласились с тем, что выбросы в промышленно развитых странах шести основных вредных соединений — CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs и SF_6 — с 2008 по 2012 г. должны быть сокращены на 6–8% по отношению к уровню 1990 г. При этом в протоколе не было оговорено никаких ограничений для развивающихся стран, и, кроме того, для отдельных промышленно развитых государств устанавливались, мягко говоря, существенно разные ориентиры (Австралии разрешалось даже повысить эмиссию на 8%). Между тем подсчеты показывают, что даже в случае соблюдения подобных ограничений суммарные выбросы CO_2 в 2012 г. могут превосходить уровень 1990 г. на 30% только за счет его эмиссии в развивающихся странах.

Киотский протокол не только был изначально недействительным, но и не имел реальных

шансов стать подлинно международным договором. Еще до подписания протокола сенат США заявил, что не ратифицирует соглашение до тех пор, пока в нем не будут оговорены обязанности развивающихся стран. Ущерб, наносимый Соединенным Штатам этим актом, был настолько очевиден, что подписавший его вице-президент А.Гор даже не пытался вспомнить об этом своем «достижении» в ходе предвыборной кампании 2000 г. Мало кто сомневался, что повторится ситуация, возникшая в связи с Монреальским протоколом, гораздо более жестко обязывавшим сократить производство озоноразрушающих веществ: через пять лет после его подписания США полностью прекратили их выпуск, страны ЕС сократили их в 11 раз, в то время как Индонезия повысила производство на две трети, Китай — вдвое, а Индия — в три раза! Затраты же на сокращение в США эмиссии CO_2 на 20% ниже уровня 1990 г. могут составить, по оценкам Комитета экономических советников при президенте, до 3.6 трлн долл., т.е. более 40% американского валового национального продукта.

Реализм и лицемерие

К началу 2000 г. всего 18 стран (из 55 подписавших) ратифицировали Киотский протокол. Через три года после его подписания и за два года до нового всемирного саммита в Йоханнесбурге становится очевидным, что заключенное соглашение ошибочно и невыполнимо. Как мы отмечали в начале статьи, менее чем через два месяца после вступления в должность президент США Дж.Буш объявил о том, что Соединенные Штаты выходят из соглашения в одностороннем порядке.

Конечно, решение Буша было обусловлено целым рядом обстоятельств; далеко не последнюю роль сыграли и субъективные факторы. Между тем

сейчас, когда первая эмоциональная реакция на этот демарш (мы еще вернемся к ней ниже) осталась в прошлом, настало время признать, что президент имел для такого шага более чем серьезные основания.

Главной причиной, безусловно, стала более реалистичная оценка экономических издержек, сопряженных для США с выполнением Киотского протокола. Согласно проведенным подсчетам, Соединенные Штаты, которые в конце 2000 г. продуцировали на 300 млн т, или на 16%, больше CO_2 , чем предполагалось соглашением в Киото, должны были ежегодно затрачивать на достижение обозначенных в протоколе параметров около 3% своего валового национального продукта. При этом только с 2000 по 2004 г. цены на электроэнергию возросли бы не менее чем на 86%, что серьезно увеличило бы издержки в остальных секторах экономики. К тому же в начале 2001 г. хозяйственная конъюнктура в США была далеко не столь благоприятной, как во втором сроке пребывания Б.Клинтона в Белом доме; в конце марта на встрече с германским канцлером Г.Шредером в Вашингтоне Буш прямолинейно заявил: «Наша экономика замедлила свой рост... Идея ограничения выбросов CO_2 не имеет экономического смысла для Америки» (Graff J. // Time. 2001. April 9. P.33). Несмотря на не вполне корректный тон подобных заявлений, они, повторим это еще раз, представляются достаточно обоснованными.

Гораздо более важным явилось то, что нараставший на протяжении долгого времени кризис Киотских соглашений и выход из них США существенно иначе расставили акценты в вопросах борьбы с глобальным потеплением. Обосновывая свое решение, президент Буш поручил Национальной академии наук США подготовить доклад, реалистично отра-

жающий положение дел в данной сфере. Он был представлен публике 6 июня 2001 г. и произвел эффект разорвавшейся бомбы. По мнению авторов доклада, если суммировать его содержание в одной фразе, «мы не в состоянии уверенно связать последние климатические изменения с содержанием диоксида углерода или предсказать, каким будет климат в будущем» (Lindzen R.S. // The Wall Street Journal Europe. 2001. June 12. P.8). В документе отмечается, во-первых, что строго документированные сведения о процессе глобального потепления относятся только к последним трем десятилетиям, и этого недостаточно для серьезных экстраполяций; что изменения климата представляются нормой, а не исключением, и их колебания за последние две тысячи лет были даже большими, чем, как считают эксперты, они могут стать в новом столетии; что, наконец, в настоящее время невозможно предсказать ход развития технологий — основного фактора, способного определить объем эмиссии вредных веществ к концу наступившего века. Во-вторых, утверждается в докладе, рост температуры земной поверхности, произошедший за последние 100 лет, в большей мере относится к периоду до 1940 г., нежели к более позднему; углекислый газ — важнейший элемент функционирования биосферы, но лишь 5% общего объема в атмосфере обеспечивается промышленной деятельностью; сама же углекислота в гораздо меньшей степени способствует созданию пресловутого парникового эффекта, чем влажность воздуха, облачность и т.д. И наконец, некоторые исследователи пришли к выводу, что в нынешних условиях удвоение выбросов CO₂ в мировом масштабе не способно привести к росту температуры более чем на 1°C. По сути дела было признано, что у мировой экономики сегодня еще

есть достаточно времени, чтобы новые технологии, более эффективные с точки зрения использования ресурсов, заменили прежние вполне естественным путем.

Оценивая изложенное, можно прийти к выводу, что заявление Буша о выходе из Киотского протокола должно, скорее, приветствоваться как редкий случай политической искренности, четкой позиции, чем осуждаться как попытка заблокировать позитивный процесс, развивающийся ныне лишь в риторике и мечтах. Тем более примечательна реакция, вызванная в мире решением США. В первые же дни мировая пресса поспешила заявить, что американский президент лишь «отработал» те деньги, которые вложили в его предвыборную кампанию энергетические корпорации; последние, действительно, направили в кассу республиканцев в девять раз больше средств, чем пожертвовали демократам, однако общая сумма взносов составила менее 3 млн долл. (в 1996 г. частные пожертвования в фонд республиканской партии достигли 93.1 млн долл., а в 2000-м были еще большими).

Многие мировые лидеры высказали глубокую озабоченность шагом Буша; особенно понятной она выглядела у Г.Шредера, чье правительство зависит от поддержки фракции «зеленых» в бундестаге; особенно лицемерной — у Й.Мори, чей рейтинг доверия в пораженной кризисом Японии находился ниже 10%-й отметки. Примечательно, что подобная реакция исходила от лидеров стран, которые так же, как и США, не только оказываются неспособными выполнить условия протокола (страны ЕС к 2012 г. не сократят, как предполагалось, выбросы CO₂ на 8% по отношению к уровню 1990 г., а увеличат на 6%), но, что даже более интересно, за три последних года даже не попытались направить его в свои нацио-

нальные парламенты для ратификации. Можно лишь представить себе, какую услугу оказал этим лидерам президент Дж.Буш, первый отказавшийся от красивых, но заведомо невыполнимых обещаний.

Имеет ли выход США из Киотских соглашений критическое значение для продолжения борьбы за экологическое оздоровление нашей планеты? Ведь еще сохраняется вероятность их ратификации остальными подписантами. Например, некоторые эксперты считают, что Япония ратифицирует протокол хотя бы потому, что не захочет забить последний гвоздь в гроб договора, носящего имя Киото. Следовательно, остается шанс на продолжение в 2002 г. переговоров по ограничению выброса парниковых газов. Этот мотив, возможно, и важен, но наверняка есть и более существенные факторы, которые воспрепятствуют ратификации пакта. Процесс же постепенного снижения уровня загрязнения идет и будет идти дальше потому, что, во-первых, он соответствует экономической целесообразности и, во-вторых, следование экологическому императиву становится элементом мироощущения все более широких кругов общества, прежде всего в странах западного мира.

Обратимся к недавней истории. США, как было показано выше, лидируют по производству вредных отходов. Однако это не означает, что они не добились на протяжении нескольких последних десятилетий очевидного прогресса. При выросшем в 2.5 раза валовом национальном продукте США используют сегодня меньше черных металлов, чем в 1960 г.; с 1980 по 1997 г. потребление нефти и газа в расчете на доллар валового национального продукта упало на 29%, несмотря на то, что за тот же период цены на нефть снизились в три раза; хотя цены на бензин в США оставались поч-

ти в три раза более низкими, чем в Европе, в 1973—1986 гг. потребление бензина средним новым американским автомобилем снизилось с 17.8 до 8.7 л на 100 км пробега. Физическая масса (в тоннах) американской экспортной продукции, оценивавшейся в 1 млн долл., с 1967 по 1988 г. снизилась на 43%, а в течение 90-х годов — еще в два раза. В целом потребности экономики стран-членов Организации экономического сотрудничества и развития в природных ресурсах, рассчитываемые на 100 долл. произведенного национального дохода, должны снизиться с 2000 по 2030 г. почти в 10 раз — с 300 до 31 кг. Крупные промышленные компании все чаще отказываются от использования редких и связанных с масштабным вмешательством в природу материалов. Создание корпорацией «Кодак» метода фотографирования без применения серебра резко сократило рынок этого металла; то же самое произошло, когда компания «Форд» объявила о появлении катализаторов на основе заменителя платины, а производители микросхем отказались от использования золотых контактов и проводников. Ограниченные объемом этой статьи, мы не будем приводить аналогичных примеров, касающихся ЕС, но они не менее впечатляющи. Таким образом, развитые страны вполне естественным образом, без всяких международных соглашений и конвенций, ограничивают неэффективное использование природных ресурсов и снижают нагрузку на окружающую среду.

При этом необходимо учитывать, что важнейшим фактором формирования экологичной хозяйственной системы является не столько ограничение использования какого-либо фактора производства или запрет на загрязнение атмосферы, сколько изобретение и применение новых технологий, ибо только они способны со-

здать экономику, которая не будет более угрожать самому существованию биосферы. При рассмотрении ситуации в таком контексте нельзя не признать, что США и другие западные страны не антагонисты природоохранного процесса, а по сути единственная сила, способная вывести его из области демагогии в сферу конкретных мер по защите окружающей среды. Поэтому неудача Киотского договора является, на наш взгляд, не просто провалом некоей абстрактной договоренности, а поворотным моментом, показывающим, что соответствующая реальия XX в. экологическая парадигма уходит вместе с минувшим столетием.

Становление новой экологической концепции

Осмысление подготовки и заключения Киотского соглашения, равно как и последовавшего фактического отказа от его соблюдения, приводит нас к двум основным выводам.

Первый касается самого характера проблемы, решению которой было посвящено соглашение в Киото, — проблемы глобального потепления климата. Выход США из Киотского протокола связан, на наш взгляд, не столько с неспособностью следовать духу и букве соглашения, сколько с тем, что такое следование не рассматривается сегодня как достаточно необходимое. Мнения экспертов об относительной надуманности самой проблемы представляются нам достаточно обоснованными. Для пояснения этой мысли обратимся к аналогии 30-летней давности.

В середине 70-х годов не было более популярной природоохранной темы для обсуждения, чем проблема истощаемости невозобновляемых природных ресурсов. Накануне энергетического кризиса 1973 г.

считалось, что запасы нефти, газа, а также основных металлов на планете исчерпаются на протяжении ближайшего полувека. Однако этот прогноз не оправдался. Уже к 1987 г. запасы нефти, которые должны были сократиться до 500 млрд баррелей, «выросли» до 900 млрд; к тому времени (по сравнению с 1970 г.) запасы газа увеличились с 42.6 до 113.6 млрд м³, меди — с 279 до 570 млн т, серебра — с 6.7 до 10.8, а золота — с 31.1 до 47.27 тыс. т. Оценивавшийся экспертами срок истощаемости разведанных запасов нефти и газа увеличился с 31 до 41 года, а газа — с 38 до 60 лет. При этом только на территории США к 2010 г. обнаруженные запасы нефти и газа, как предполагается, достигнут уровня, превосходящего уровень 1990 г. на 37% и 41% соответственно.

Мы полагаем, что сегодня проблема глобального потепления сродни вчерашней проблеме истощения природных ресурсов. Сама опасность потепления существует, однако необходимость экстраординарных мер по борьбе с нею совсем не так актуальна, как это обычно представляется. Безусловно, как в 70-е годы привлечение общественного внимания к самой возможности истощения природных богатств, так и в 90-е годы акцент на проблеме глобальных климатических изменений способен активизировать поиск альтернатив, однако именно этим и следует ныне ограничиться, не изображая ситуацию излишне драматичной.

Второй вывод связан с необходимостью выработки адекватной новому веку экологической парадигмы. Мы отнюдь не претендуем на решение столь масштабной задачи, однако хотим отметить несколько важных в этом контексте позиций, непосредственно вытекающих из опыта последних лет.

Во-первых, острота экологических проблем совершенно по-разному воспринимается се-

годня на постиндустриальном Западе и в третьем мире, и следует отказаться от заблуждения, будто в развитых странах ситуация более драматична. Поэтому фундаментальным императивом любых природоохранных мероприятий должна быть их симметричность. Запад не должен идти на односторонние уступки третьему миру и терять свой экономический динамизм в попытках сократить выбросы углекислоты в то время, когда другие страны наращивают их. Мы не призываем отказаться от переговоров или выставить третьему миру ультиматумы, блокирующие их хозяйственный рост, однако должна существовать взаимная ответственность. Например, можно было бы рассмотреть вариант, при котором западные страны обязались бы стабилизировать выбросы, а развивающиеся государства — прекратить уничтожение тропических лесов, способных продуцировать кислород и поглощать углекислый газ. Так или иначе все природоохранные меры в мировом масштабе должны быть только взаимными, в противном случае их ждет неминуемая неудача. Пример Киотского протокола наглядно свидетельствует об этом.

Во-вторых, крах договоренностей в Киото наряду с успехом ряда иных природоохранных конвенций высвечивает весьма интересный аспект проблемы. Мы имеем в виду явную неготовность современного мирового сообщества к согласованным действиям по проблемам, не имеющим достаточно частного и ограниченного характера. В случае с конвенцией по Антарктике, договором о прекращении охоты на китов или Монреальским протоколом успехов удалось достичь по двум причинам: с одной стороны, эти задачи были относительно частными и не вступали в противоречие с фундаментальными параметрами экономического развития, с другой — мониторинг соблюдения согла-

шений был достаточно простым, а контроль эффективным. Пытаясь же ограничить выбросы углекислоты, договаривающиеся стороны не принимали во внимание интересов колоссального множества экономических субъектов и почему-то не отдавали себе отчета в том, что властью их наделили народы, имеющие отнюдь не только экологические интересы. Сегодняшняя ситуация показывает, что экологическое сознание в обществе уже поднялось до того уровня, когда люди могут принести существенные экономические интересы в жертву экологическим задачам на локальном, касающемся каждого уровне и могут поступить так же, если ущемление их несущественных экономических интересов может оздоровить экологическую ситуацию на глобальном уровне, к каждому прямого отношения не имеющем. Предпочсть глобальные экологические цели существенным экономическим интересам пока еще не способно население ни одной страны мира. Из этого следует, что необходимо сохранить, по крайней мере на протяжении ближайших десятилетий, акцент на решении относительно частных проблем, поскольку именно они — уничтожение лесов, ухудшение качества почв, истребление животных, распространение эпидемий и т.д. — представляют сегодня наиболее опасными, и при этом для борьбы с ними уже созданы действенные и эффективные механизмы.

В-третьих, сама заложенная в основу Киотского протокола идея о возможности односторонних акций со стороны западного мира была порочной и потому, что даже в случае успеха таковые не изменили бы ситуации. Поясним эту мысль. Сегодня быстро развивающиеся регионы третьего мира — основные источники экологических проблем (так, например, предполагается, что Китай займет лидирующее место по вы-

бросам CO₂ и N₂O к 2020 г.). Единственное условие снижения их остроты — достижение этими странами более высокого уровня хозяйственного развития, которому присущи как более экологичные технологии, так и новый уровень самосознания населения. Однако в нынешних условиях большая часть товаров и услуг развивающихся государств потребляется в западных странах, от рыночной конъюнктуры в которых полностью зависит экономический рост в третьем мире. Новая волна природоохранных мероприятий на Западе, сокращая доходы его населения, вызовет борьбу за снижение издержек в развивающихся странах, приведет к возрождению самых неэффективных с экологической точки зрения технологий и породит такую дополнительную нагрузку на среду обитания человечества в целом, что никакие усилия Европы и США не смогут компенсировать этого ущерба. Мы полагаем, что сегодня следует всемерно способствовать экономическому росту третьего мира, помогая ему технологическими трансфертами и финансовыми ресурсами, позволяющими улучшить природоохранную ситуацию, а также всеми силами сдерживать неконтролируемое развитие событий в наиболее отсталых регионах; именно на это с гораздо большей эффективностью можно направить средства, которые будут экономлены на Западе в условиях отказа от следования Киотскому протоколу.

В заключение хотелось бы отметить еще одно важное обстоятельство, на которое редко обращают должное внимание. В современной экономике национальные государства не играют той роли, которой по традиции еще наделяют их политики. Экология сегодня не противостоит экономике; улучшение ситуации в области охраны окружающей среды возможно только в случае, если таковое будет рассматриваться как эко-

номическая проблема. Между тем основными субъектами хозяйственной жизни являются сегодня крупные корпорации, и компании, действующие в третьем мире, зависят от них намного больше, чем от правительств великих держав. На наш взгляд, стремясь достичь реальных результатов, необходимо создать систему экономических преференций и санкций, применяемых к компаниям и странам, стремящимся к выполнению экологических программ

или им препятствующим. Введение санкций против Бразилии до тех пор, пока не будет остановлена вырубка амазонских лесов, или режима наибольшего благоприятствования для продукции компании «Тойота», ставшей недавно лидером по разработке технологий, позволяющих резко снизить использование топливных ресурсов, — это гораздо более действенные меры, нежели призывы к странам снизить эмиссию вредных газов в атмосферу. Страны не

выбрасывают отходы — их выбрасывают люди и промышленные компании, и без переноса главных акцентов на данный уровень успех в масштабной природоохранной деятельности невозможен.

Остается надеяться, что широкая дискуссия по всему кругу вопросов, которых мы коснулись в этой статье, будет способствовать формированию новой экологической концепции, адекватной потребностям нового века. ■

Климат и народонаселение — причинные связи

А.В.Бялко,
доктор физико-математических наук
Москва

Статья В.Л.Иноземцева убедительно аргументирует логику президента США Дж.Буша, декларирующего отказ от Киотских соглашений. И пожалуй, можно согласиться, что в тот момент у него не было иного выбора. Но так ли дальновиден этот шаг?

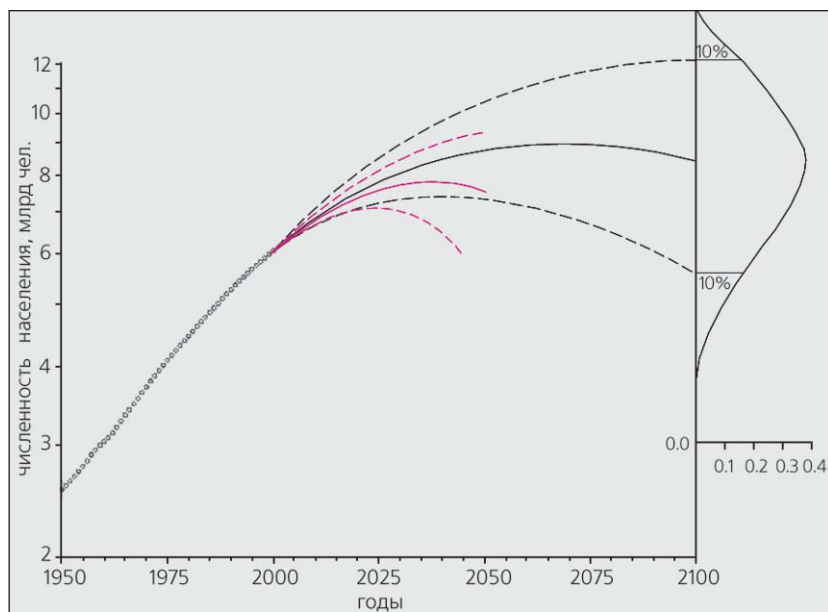
Г.Гопкинс, советник и друг президента Ф.Д.Рузвельта, вспоминал о таком случае. Однажды он предложил президенту решиться на некий политический шаг и получил полное его одобрение. Гопкинс ожидал конкретных действий президента, подписания соответствующего документа, однако вместо этого услышал от него, что, мол, все хорошо, — но теперь идите и оказывайте на меня давление. Иными словами, готовьте к предстоящему политическому

событию прессу и общественное мнение.

Конечно, президенты США и сами способны к крутым поворотам в политике (как правило, ближе к концу второго срока), но и о давлении американского истеблишмента не следует забывать. Поэтому вряд ли нам стоит хвалить заявление Буша: тактически оно оправдано и сегодня, возможно, в интересах США. Но полагаю, что стратегически — это ошибка, ее последствия в ближайшие полвека будут тяжелы для всего мира, но относительные потери именно для Америки окажутся максимальными (в десятки раз большими, чем затраты, рассчитанные для выполнения Киотского протокола). Доказать нам строго это не удастся, поскольку будущее предсказуемо лишь вероятно. Но вот некоторые аргументы.

Следствия изменения климата

Климат планеты теплеет. Причина — антропогенные выбросы парниковых газов в XX в., которые связаны с ускоренным развитием топливной энергетики, использующей уголь, нефть и газ, а также с сопутствующим ростом мирового народонаселения (к этому вопросу мы еще вернемся). Энергетическая тенденция будет необратима как минимум в течение 30 лет в силу большой ее инерционности. Киотский протокол в этом отношении был излишне оптимистичен, это ощущалось сразу после его подписания [1]. О среднемировых масштабах грядущего потепления можно спорить. Но посмотрим, где они будут положительны для сельского хозяйства, а где наиболее разрушительны.



Сравнение сценариев роста численности населения Земли. Кружки — фактический рост до 2000 г. Кривые, простирающиеся до 2100 г., построены по данным Лутца, Сандерсона и Шербова [3] в логарифмическом масштабе: сплошная — наиболее вероятное изменение численности, пунктирные — отсекают области 10%-й и 90%-й вероятностей. Цветные кривые, достигающие 2050 г., — экстраполяции фактической численности за период 1950–2000 гг. [2]. Справа по данным тех же специалистов построена кривая распределения вероятностей различных сценариев. Это распределение не должно оказаться почти симметричным относительно линии наибольшей вероятности, поскольку рост населения реагирует на экономически благоприятные условия не слишком быстро, а спад численности при пандемии может оказаться катастрофичным.

Система циркуляции земной атмосферы устроена следующим образом. В тропиках пассаты, направленные на восток и от экватора, создают область пониженного давления. Поэтому на широтах менее 10° (в обоих полушариях) осадки более чем достаточны. В полосе широт от 20° до 30° теплый воздух, поднявшийся вверх, но отдавший влагу тропическим дождям, опускается к поверхности, создавая антициклональную область повышенного давления. Здесь располагается пояс пустынь, малопродуктивный для сельского хозяйства. Севернее и южнее 40-й параллели начинают преобладать ветры западного направления и примерно до 60-й простира-

ется зона умеренного климата, благоприятная для сельского хозяйства и человеческой деятельности.

Если исключить из рассмотрения нефтедобывающие страны, то именно в засушливой полосе широт окажутся беднейшие страны мира, а в умеренном климате — богатейшие. Не интеллект, традиции или идеология определяют достаток страны, а ее климат и ресурсы недр. Но последние рано или поздно иссякают. Что произойдет и уже происходит при потеплении климата? Земная суша близка к среднесуточному температурному равновесию с атмосферой, поэтому ее нагрев будет возрастать. Океан же даже в верхнем 100-метро-

вом слое в среднем холоднее атмосферы, а его глубины хранят запасы холода, достаточные для стабилизации климата на десятки тысячелетий. Зато в тропиках усиливается испарение океана, в результате интенсивность тропической конвекции (в частности, пассатов) возрастает. По этой причине растет число погодных аномалий — тайфунов, ураганов, торнадо, наводнений. Кроме того, полоса пустынь постепенно отодвигается на север, а условия существования в ней приближаются к невыносимым. Особенно сильно ощущается недостаток питьевой воды. Одновременно на север перемещается и зона устойчивого земледелия. Впрочем, для мирового земледелия общий эффект потепления скоро может стать отрицательным за счет того, что потери производительной площади в засушливой зоне больше ее увеличения в северных широтах (в Южном полушарии суши с умеренным климатом почти нет).

США в таком сценарии — один из аутсайдеров. Их «зерновая корзина» — штаты Среднего Запада, и при современном климате они подвержены частым засухам, а подземные воды в этих районах уже почти исчерпаны артезианскими скважинами. При потеплении климата окажутся потерянными большие площади, пригодные для земледелия, но случится это, вероятно, когда семейство Бушей уже станет достоянием истории. Возможно, особой катастрофы в Америке и не произойдет, поскольку Канада этнически и экономически близка США, а горизонтальная протяженность суши в Северной Америке расширяется на север. Тем не менее финансовые убытки от превращения США из экспортера в импортера зерна при многократном росте цен приведут к перестройке мировой экономики и таким экономическим потерям США, по сравнению с кото-

рыми их затраты на выполнение Киотского протокола покажутся ничтожными.

Народонаселение, миграция

Год назад была высказана идея о возможном спаде мирового народонаселения начиная с середины текущего века, основанная на экстраполяции предыдущей динамики роста [2]. Она получила развитие в работе У.Лутца из Международного института анализа прикладных систем (Лаксенбург, Австрия), У.Сандерсона из Университета штата Нью-Йорк и С.Шербова из Гронингенского университета [3]. Ими рассчитаны возможные сценарии динамики мирового народонаселения в текущем веке и оценены их вероятности. Оказалось, что максимум мирового народонаселения, возможно, будет достигнут примерно в 70-х годах текущего века, а затем численность человечества начнет убывать. По моему мнению, этот момент все же наступит раньше, еще в первой его половине.

При любом сценарии экстремум человечества еще впереди, но переход мира от прогресса* к рецессии, как мне кажется, будет крайне болезненным и напряженным, поскольку отвыкать от мысли, что прогресса уже не будет, весьма трудно. Одно из последствий переходного процесса — миграция населе-

ния. Рассмотрим ее не как результат отдельных войн, локальных катаклизмов или проявления злой воли, а как глобальное следствие климатических изменений. Исход населения из расширяющейся зоны пустынь на север происходит на наших глазах, а в ближайшем будущем может стать массовым.

Это заметно даже по миграции в соседние страны. (Существует, конечно, и дальняя миграция, ее наглядные примеры — китайские колонии в Европе и Америке, но это все же более регулируемый процесс.) В США стихийная миграция из Мексики уже привела к тому, что южные штаты стали испаноговорящими. Исход из Северной Африки в Европу невелик из-за средиземноморского барьера. Стихийная миграция беднейшего населения со Среднего Востока и из среднеазиатских стран в Россию пока не катастрофична, но может резко возрасти. Подлинным же переворотом станет намечающееся перемещение из Китая на север. Население на Дальнем Востоке [4] сегодня распределено так, что контрасты его плотности — наибольшие на всей карте мира. Ни реки, ни государственные границы не смогут сдержать процесс выравнивания градиента этой плотности.

Есть ли выход?

С естественными процессами бесполезно бороться репрессивными методами. Даже приостановка роста концентрации парниковых газов замедлит

тенденцию потепления только через несколько десятилетий, когда население мира будет близко к своему максимуму.

Можно, конечно, попытаться выйти из создавшегося положения и несколько быстрее. Общий рецепт известен и прост: потребление угля и нефти нужно обложить экологическими налогами. Цены на топливо возрастут, а вместе с сокращением его запасов будут стимулировать снижение добычи. Усилится энергосбережение, получит развитие альтернативный транспорт (без двигателей внутреннего сгорания). Для компенсации энергетического голода разумно было бы увеличить производство электроэнергии на атомных электростанциях, а для отопления предпочтительно использовать газ. В результате сократятся выбросы антропогенного диоксида углерода, что как раз предусмотрено Киотским протоколом. Но конкретные законы и варианты налогообложения еще должны быть разработаны мировым сообществом. Главная же трудность состоит не в юридических спорах, а в восприятии общественным сознанием той мысли, что в масштабе полустолетия эта стратегия отвечает интересам не только арабского мира, но и США.

Итак, сегодня наша задача — понять причины нарастающего в мире напряжения и попытаться если не исправить, то по крайней мере смягчить тяжесть происходящих перемен. Горький опыт провала Киотского протокола подталкивает к более серьезной работе специалистов. ■

* Прогресс понимается в буквальном смысле — удвоение за равные промежутки времени.

Литература

1. Бялко А.В. Климат, кризисы, Киотская конференция // Природа. 1998. №2. С.3—4.
2. Бялко А.В. Мир на стыке веков // Природа. 2001. №1. С.16—20.
3. Lutz W., Sanderson W., Scherbov S. // Nature. 2001. V.412. №6847. P.543—545.
4. Карта плотности населения мира // Природа. 1999. №3. С.59—61.

Новая жизнь «Биосферы-2»

В 1997 г. были прерваны широкомасштабные эксперименты в Аризонской пустыне, поставленные коллективом Колумбийского университета (штат Нью-Йорк) с использованием «Биосферы-2»¹.

Внутри этого герметичного комплекса зданий в микромаштабе автономно существовали «тропические влажные леса», «океаны», «пустыни» и другие природные ландшафты. Участники эксперимента — «эконавты» — жили внутри «Биосферы», не выходя месяцами наружу и не получая извне ни воды, ни воздуха: атмосфера и гидросфера должны были регенерироваться в результате жизнедеятельности растений. Эксперимент пришлось прервать, когда оказалось, что температура и химический состав воздуха внутри помещения начинают выходить за пределы безопасности.

В середине января 2001 г. министр энергетики США подписал с Колумбийским университетом соглашение об использовании «Биосферы-2» для нужд его ведомства (Science. 2001. V.291. №5504. P.569. США). В течение двух лет министерство выделит 700 тыс. долл. на то, чтобы приспособить сооружение для изучения реакций экологической системы на глобальные и региональные климатические изменения.

Спасение Венеции: новая жизнь проекта

Когда в 1966 г. невиданное здесь ранее наводнение (высо-

та приливной волны достигала 2 м) нанесло Венеции огромный ущерб, началась разработка мер по предотвращению подобных бедствий. Наиболее перспективным администрация области Венеция и международная экспертная комиссия признали проект MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico — Экспериментальный электромеханический модуль). Основу этого гидротехнического сооружения составляют три надувных подвижных барьера, которые в случае превышения приливной волной высоты 1 м поднимаются со дна и перекрывают поступление воды из моря в Венецианскую лагуну (Science. 2001. V.292. №5514. P.28. США).

В 70-х годах инженеры приступили было к конструированию модуля, но этому воспротивились Министерство охраны окружающей среды и Министерство культурного наследия. Однако в 2000 г. сначала суд, а затем и Совет министров страны высказались в пользу MOSE; государство выделило на его сооружение 2 млрд долл. США.

Сегодня многострадальный проект вновь направлен на экспертизу — теперь уже под давлением общественных организаций, считающих необходимым учесть изменения климата: при дальнейшем глобальном потеплении уровень Мирового океана повысится и вода хлынет через барьеры. Не сняты и протесты различных природоохранных организаций, указывающих на опасность закрытия лагуны: нормальная циркуляция воды прекратится и она превратится в болото. Вместо сооружения модуля они предлагают ряд мелких мер: поднять дороги и тротуары, укрепить береговую линию, перестроить набережные и т.п. По расчетам «зеленых», это

обеспечит безопасность городу в течение полувека.

Так или иначе, в ближайшие несколько месяцев противостояние должно завершиться и можно будет приступать к практическим мерам, которых Венеция уже заждалась.

Тайфун нанес потерь больше, чем противник

17–18 декабря 1944 г. Военно-Морской флот США понес огромные потери: 800 человек погибли, 146 самолетов палубной авиации и два эсминец затонули, а 13 эскадренных миноносцев получили серьезные повреждения (Sciences et Avenir. 2001. №653. P.71. Франция). Виной тому был не Императорский флот Японии, а мощнейший тайфун (скорость ветра достигала 160 узлов — почти 300 км/ч). Трагедия произошла в 500 милях к востоку от о.Лусон (Филиппины) во время заправки топливом. Совершая круговое маневрирование в ожидании подхода танкеров-заправщиков, корабли испытывали бортовую качку до 75°!

После драматического эпизода, ущерб от которого, по оценке главнокомандующего ВМФ США, превысил потери в боевых операциях, американцы начали интенсивные исследования тропических циклонов. В июне 1945 г. на о.Гуам (Тихий океан) был создан первый центр по их изучению. Отсюда начались полеты оснащенных метеорологическими приборами самолетов-разведчиков. Это были уже устаревшие к тому времени, но весьма крепкие бомбардировщики В-17, летчики называли их «охотники за ураганами»: именно на них метеорологи могли проникать в самое сердце тайфуна.

¹ Подробнее см. публикации в «Природе»: М.Нельсон и др. «Биосфера-2» (1993. №10. С.66–79); «Биосферцы испытывают трудности» (1993. №7. С.117); «Эксперимент “Биосфера-2” продолжается» (1995. №1. С.119–120); «“Биосферу-2” проветрили и почистили» (1996. №1. С.117–118).

Фитофтороз — глобальные и внутрироссийские проблемы

Ю.Т.Дьяков

В 1995 г. в столице Ирландии Дублине проходила большая международная научная конференция «Фитофтора-150». И место проведения конференции, и ее название не случайны. Наверное, среди болезней растений нет другой столь трагически известной, как фитофтора картофеля — она оказала роковое влияние на судьбу целой нации. Недаром великий немецкий ботаник Антон де Бари, описавший возбудителя болезни, дал ему имя *Phytophthora infestans* — инфекционный пожиратель растений.

Картофельная болезнь появилась в США и в Европе почти одновременно, в начале 40-х годов XIX в. Впервые ее зарегистрировали в 1844 г., а уже следующие два года стали драматической вехой в судьбе народов. Она принесла в Европу голод и нищету. Особенно сильно пострадало население Ирландии. В 1845 г. там проживало около 8 млн человек, причем для 6 млн картофель составлял по крайней мере половину пищевого рациона, а остальные питались почти исключительно картофелем. Лишившись его, люди потеряли единственный источник существования. Смерть косила людей с такой скоростью, что



Юрий Таричанович Дьяков, доктор биологических наук, заведующий кафедрой микологии и альгологии биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Главный редактор журналов «Микология и фитопатология» и «Journal Russian Phytopathological Society», вице-президент Регионального общества фитопатологов и Национальной академии микологии. Область научных интересов — популяционная и эволюционная биология грибов, физиология и генетика фитопатогенных грибов, генетика и селекция съедобных грибов

их не успевали хоронить. Вот как писали тогда в дублинской газете: «Деревообрабатывающая фабрика на Королевской улице, самое крупное предприятие подобного рода в стране, обеспечивает ежедневной работой в течение последующих шести или восьми месяцев, с утра и до ночи, одновременно от 16 до 20 пар пильщиков для распилки гробовых досок». Вид гниющих растений вызывал у населения ужас, описание которого можно встретить в художественных произведениях той эпохи, например в повести швейцарского

писателя Иеремия Готхельфа «Кэтти-бабушка»: «И вот при свете факела увидела Кэтти на всех кустах картофеля ужасную черную чуму. И чем дальше она глядела, тем, казалось, чернее и ужаснее становились пятна страшной болезни. Отчаяние овладело тогда старой женщиной, и, опустившись на землю, она горько заплакала».

За голодом последовали его неминуемые спутники — инфекционные болезни. Началась массовая миграция ирландцев в Англию и в США. Толпы эмигрантов атаковали отплывающие

© Ю.Т.Дьяков

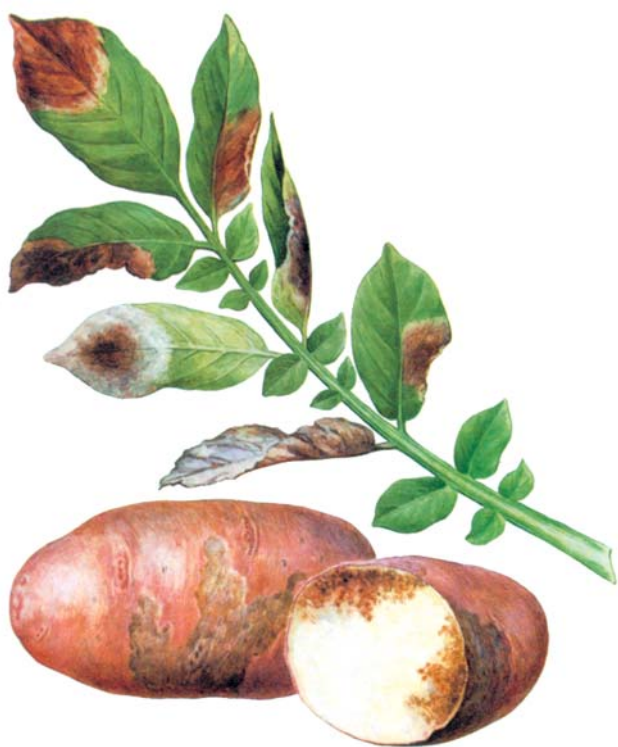


суда, бросая землю, дома, а иногда и близких людей. К 1851 г. население Ирландии уменьшилось на 2 млн человек. «Что значит золотуха, — писал Ф.Энгельс, — в сравнении с тем голодом, который постиг в результате болезни картофеля Ирландию и который свел в могилу миллион питающихся исключительно или почти исключительно картофелем, а два миллиона заставил эмигрировать за океан».

Возбудитель болезни

Род *Phytophthora* «славен» не только «картофельным грибом»: *P.cinnamomi* уничтожила половину эвкалиптовых лесов в Австралии; *P.palmivora* — опаснейший паразит пальм и гевей; *P.cactorum* вызывает наиболее распространенные заболевания яблонь. И перечень этот можно продолжать долго.

Фитофторы относятся к классу оомицетов. Во второй половине прошлого века накопились данные о том, что оомицеты больше похожи на водоросли, чем на грибы. У них сходный с водорослями половой процесс; имеются разнужутиковы зооспоры, трубчатые кристы митохондрий, как у водорослей, а не лентовидные, как у грибов; в клеточной стенке нет хитина, но есть целлюлоза, биогенез лизина сходен с водорослевым. Эти данные полностью подтвердились при изучении геномов оомицетов, кото-



Фитофтороз картофеля. Вверху — картофельное поле, внизу — пораженные листья и клубни.

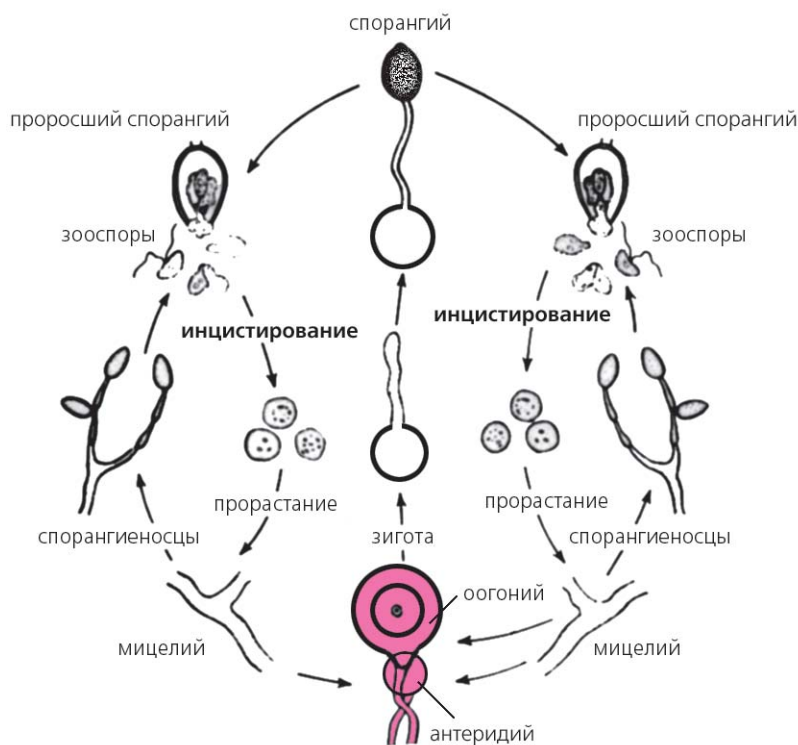


Фитофтора на томатах.

рые сейчас изъяты из царства грибов и перенесены в царство хромистов или гетероконтных водорослей (вместе с диатомовыми, бурыми, золотистыми водорослями). Значит, называть фитофтору грибом можно лишь метафорически, но не филогенетически.

Массовые поражения томатов фитофторозом были зафиксированы значительно позже, чем на картофеле. Томаты — близкие родственники картофеля, относятся они к тому же роду *Solanum*, в его широком толковании, но к разным под родам. Для сильного поражения томата была необходима адаптация паразита к его обмену, отличающемуся от обмена первичного хозяина — картофеля. Однако сейчас имеются внутривидовые формы фитофторы, поражающие томаты сильнее, чем картофель, и вызывающие гниение плодов [1]. Видимо, произошла одна или серия мутаций, повысивших приспособленность паразита к томатам.

Вегетативное тело фитофторовых грибов — бесцветный неклеточный разветвленный мицелий, погруженный в субстрат (обычно — ткань растения-хозяина). Через разрывы пораженной ткани или через листовые устьицы высовываются разветвленные спорангиеносцы, на концах которых формируются лимбовидные зооспорангии. Они отрываются от спорангиеносцев и разносятся дождевыми брызгами или ветром. Попадая в каплю воды, зооспорангия раскалывается, образуется шесть—восемь двужгутиковых зооспор, которые покидают зооспорангий через отверстие на его вершине. Проплавав некоторое время, зооспора теряет жгутики, покрывается оболочкой (инцистируется) и прорастает ростковой трубкой, которая внедряется в ткань листа или плода. Интересно, что сигналом для инцистирования служит контакт с твердой поверхностью (для синхронного инцистирования



Жизненный цикл фитофторы. Симметрично показаны стадии вегетативной фазы, в центре — стадии полового процесса (выделены цветом).

зооспор достаточно несколько раз энергично встряхнуть пробирку с их суспензией). При повышенной температуре (выше 20°) зооспоры не формируются, а зооспорангий прорастает целиком, как одна спора. Это — пример тонких адаптаций к условиям жизни: в теплую погоду капли на листьях быстро высыхают и лишенные клеточной стенки зооспоры рискуют погибнуть. Так ценой снижения потомства повышается устойчивость развития.

При благоприятных условиях (высокой влажности и умеренных температурах) через три-четыре дня после заражения на листе образуется темное мокнущее пятно, окруженное с нижней стороны листа (где устьица) белым кольцом спороношения. Таким образом, очень быстро единичное заражение дает несколько десятков тысяч спорангиев, прорастающих еще шесть—восемью зооспорами.

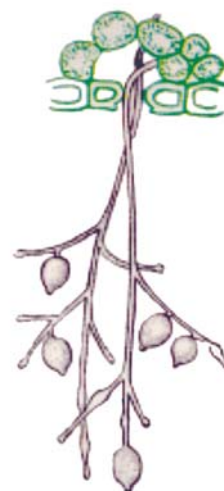


Схема развития спорангиеносцев с зооспорами из устьиц листа.

Это обуславливает взрывной, лавинообразный характер развития болезни, которая после смыкания ботвы соседних кустов может при благоприятной погоде за пару недель превратить картофельное поле в кладбище с торчащими, лишенными листьев стеблями.

Споры с дождевыми токами проникают в почву и заражают формирующиеся клубни. Особенно сильно это происходит при уборке картофеля, когда поврежденные клубни контактируют с зараженной ботвой. Поражение клубней опасно не столько само по себе (при нормальном хранении фитотфтора не переходит на здоровые), сколько снижением общего неспецифического иммунитета. Как показано в лаборатории О.Л.Озерецковской (Институт биохимии им.А.Н.Баха), фитотфтора выделяет в зараженные клубни специфический глюкан — супрессор защитных реакций, который подавляет образование раневой перидермы и защитных веществ. В результате такие клубни становятся легкой добычей оппортунистических грибов и бактерий, которых там много. Они вызывают быстрое гниение клубня и распространяются на соседние. Партии картофеля, где более 10% зараженных фитотфторой клубней, могут сгнить полностью.

Большинство видов фитотфторы, кроме вегетативных зооспор, имеют в жизненном цикле половой процесс — оогамиию. У гомоталлических видов мужские и женские структуры (антеридии и оогонии) формируются на одном мицелии, т.е. они обоеполю. У гетероталлических видов для полового процесса необходимо слияние оогониев и антеридиев, образованных генетически различными мицелиями (A1 и A2). В результате полового процесса является зигота — ооспора, покрытая толстой оболочкой и способная переносить неблагоприятные внешние условия (например, зимовку). У карто-

фельной фитотфторы ооспоры находили крайне редко. Весь ее цикл проходит в вегетативной фазе, а зимовка осуществляется в комфортных условиях хранилища. Единственным источником весеннего возобновления фитотфторы считали зараженные клубни.

Распространение

Родиной картофельной фитотфторы считают долины в горах Мексики, где растет много диких видов пасленовых (в том числе и клубнеобразующих) и летом выпадают сильные дожди. После второй мировой войны в мексиканской долине Толука на средства Рокфеллеровского фонда организовали Международную станцию для изучения фитотфтороза картофеля. Руководителем пригласили молодого выпускника Корнеллского университета (США) Дж.Нидерхаузера, который начал свое сельскохозяйственное обучение в Москве, в Тимирязевской академии. Он высадил в Мексике клубни устойчивых к фитотфторозу сортов картофеля, выведенных в Корнеллском университете его учителем Д.Реддиком. Все они сильно пострадали от фитотфторы. С тех пор в Мексике началось систематическое изучение устойчивости картофеля к фитотфторозу. В долине Толука еще раньше обнаружили дикий вид картофеля *Solanum demissum* — носитель многих генов устойчивости к болезни. В 30-х годах прошлого века в Германии К.Мюллер получил первые гибриды этого вида с культурным картофелем, а несколько позже И.И.Пушкарев в подмосковном Институте картофельного хозяйства вывел первый гибридный коммерческий сорт «Фитотфтороустойчивый-8670». К сожалению, из-за разгрома лысенковщины талантливому селекционеру и генетику пришлось прекратить селекционную работу.

В 60-х годах американский миколог М.Галлегги установил, что в мексиканских популяциях фитотфторы встречаются штаммы с разными локусами спаривания (A1 и A2), при совместном росте которых образуются гибридные ооспоры. Последние были найдены в растительных остатках в природе. Скрещивание большой коллекции штаммов, выделенных в разных районах Старого Света, с мексиканскими штаммами-тестерами показало, что все европейские штаммы имеют тип спаривания A1 и поэтому стерильны.

Однако сравнительно недавно, в 80-х годах, в ряде европейских стран, в том числе и в России, обнаружили штаммы с типом спаривания A2 и многочисленные ооспоры. В частности, сотрудник нашей лаборатории С.Ф.Багирова показала, что ооспоры могут возникать в ткани пораженных томатов, зимовать в растительных остатках и заражать весной и томаты, и картофель.

Имеется несколько гипотез о причинах появления типа спаривания A2 в Старом Свете и в США. Наиболее популярна версия У.Фрая из Корнеллского университета. До его исследований основными показателями внутривидового полиморфизма у фитотфторы считали физиологические расы, поражающие сорта с разными генами устойчивости. Поскольку этот признак имеет высокую селекционную ценность, частоты тех или иных рас определяются наличием соответствующих сортов картофеля. Например, в начале 80-х годов в Московской обл. был популярен сорт картофеля «Домодедовский», имеющий ген устойчивости R3. Частота рас, поражающих сорта с этим геном, за два года изменилась с 5 до 95%.

Фрай начал широкое исследование относительно нейтральных признаков — полиморфизмов рестрикторов ДНК и изоферментов [2]. Изучение коллекций штаммов, собранных из

разных районов мира ранее 80-х годов, показало, что все они мономорфны по рестриктам ДНК, двум изоферментам (глюкозо-6-фосфат изомеразе и пептидазе) и типу митохондриальной ДНК. Однако в сборах 80-х и 90-х годов выявлен более высокий полиморфизм по этим признакам, причем штаммы, сочетающие набор ранее обнаруженных молекулярных маркеров, исчезли. В частности, в Московской обл. последний раз «старый» штамм зафиксировали на томатах в 1993 г. А.Н.Смирнов, Ю.В.Малеева и А.В.Долгова из Московского университета. А в Эстонии «старые» штаммы исчезли в 80-х годах, даже раньше, чем в некоторых странах Западной Европы.

На этом основании Фрай предположил, что в истории фитофтороза картофеля были две волны миграции из Мексики в другие районы. Первая, в XIX в., — случайный занос одного (или нескольких штаммов), вызвавшего эпидемии 40-х годов в Европе. Один из занесенных клонов (US-1) распространился по всему миру. Фактически все штаммы фитофторы на гигантских территориях — потомки одного клона, а их генетические изменения — результат точковых мутаций. Вторая волна относится к 80-м годам XX в. Благодаря работам Нидерхаузера по созданию устойчивых сортов картофеля и применению новых фунгицидов Мексика из импортера картофеля превратилась в его экспортера [3]. Среднее ежегодное производство картофеля в Мексике в 40—50-х годах прошлого столетия составляло 134 тыс. т, а в 70—80-х — 1094 тыс., т.е. возросло почти на порядок.

Вывоз семенного картофеля из Мексики обеспечил распространение мексиканских штаммов фитофторы по всему миру. Это привело, во-первых, к появлению типа спаривания A2, возможности полового процесса и зимовки ооспор в почве (вне клубней); во-вторых, к увеличе-

нию генетического разнообразия штаммов, что зафиксировано изучением молекулярных маркеров; в-третьих, к усилению патогенности распространившихся штаммов. Ранее первые пятна фитофтороза находили на стареющих листьях в конце июля — начале августа, т.е. в период цветения картофеля (отсюда второе название болезни — поздняя гниль). В последние годы фитофтороз обнаруживается уже в июне, т.е. через месяц после посадки клубней (как в Мексике). К тому же поражаться стали не только листья, но и стебли, что ранее встречалось редко. Такая форма болезни наиболее вредоносна.

Гипотеза Фрая, несмотря на всю ее логичность, столкнулась с рядом противоречивых данных. Например, изучая популяции фитофторы на территории Сибири (от Екатеринбурга до Владивостока), мы обнаружили крайний внутри- и межпопуляционный мономорфизм, вероятно, вызванный многолетним выращиванием собственного картофеля и незначительным завозом из других районов [4]. Однако все штаммы были «новыми». А недавно появилось сообщение о том, что из гербария пораженного картофеля периода ирландской эпидемии 40-х годов XIX в. выделена ДНК и с помощью полимеразно-цепной реакции определен тип митохондриальной ДНК. Он отличался от штамма US-1. Следовательно, в ирландской эпидемии участвовал по крайней мере не только штамм US-1.

Опасность фитофторы обусловлена ее высокой внутрипопуляционной изменчивостью. В ходе эпидемии образуется гигантское споровое облако. По нашим с Л.М.Супрун данным, на одном гектаре картофельного поля при наличии в среднем 40 пятен на кусте ежедневно образуется $8 \cdot 10^{12}$ спорангиев. Если считать, что частота спонтанных мутаций по одному локусу составляет в среднем $1 \cdot 10^9$ ядер, то ежедневно на одном гектаре

возникает до 1000 мутаций по каждому локусу. Значит, независимо от наличия или отсутствия половой рекомбинации один мутационный процесс способен обеспечить необходимый для всевозможных адаптаций уровень изменчивости. Именно поэтому введение в селекционные сорта новых генов устойчивости из диких видов дает лишь временный эффект — вскоре накапливаются вирулентные для них расы. Поскольку тип обмена оомицетов отличается от грибов, большинство системных фунгицидов для них нетоксичны. В 80-х годах открыли класс системных соединений, фениламинов, высокотоксичных для фитофтор вследствие ингибирования их РНК-полимеразы, и создали коммерческий препарат ридомил. Однако очень скоро эффективность ридомила упала из-за накопления резистентных к нему штаммов. Это заставило усилить поиск новых фунгицидов и разработать антирезистентные стратегии их применения.

Так что по прошествии 150 лет после первых эпидемий проблема фитофтороза во всем мире далека от решения. В России она усугубляется еще и рядом коренных изменений в сельском хозяйстве, связанных с экономикой переходного периода.

Фитофтороз в России

Россия — крупнейший производитель картофеля в Европе. На ее долю приходится около 20% посевных площадей в мире и примерно 15% мировой продукции. За годы перестройки производство картофеля не уменьшилось, но резко изменилась структура посевных площадей. В условиях плановой экономики примерно половину картофеля выращивали колхозы и совхозы и половину — сельские и городские жители на своих огородах. После перехода на рыночную экономику произ-

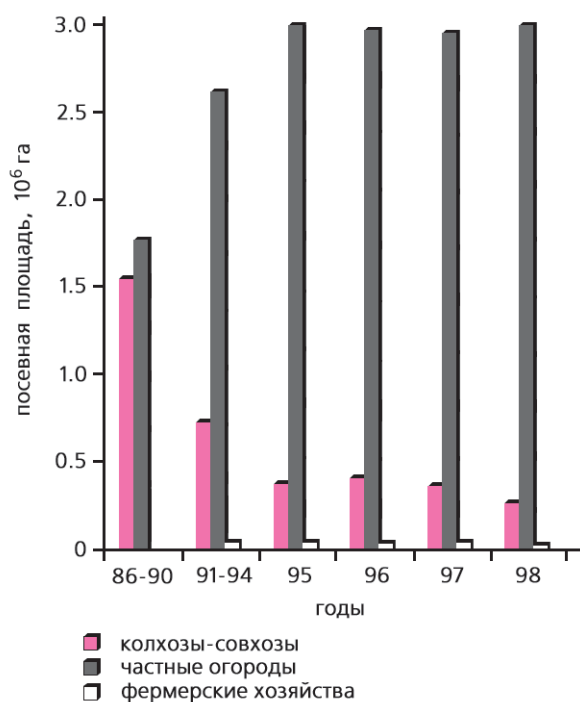


Диаграмма посевных площадей под картофелем в России в 90-е годы XX в.

водство картофеля в коллективных хозяйствах резко упало, а на частных огородах — выросло. Интересно, что рост этот произошел не благодаря сельским жителям, сажающим картофель, как всегда, «от забора до забора», а — городскому населению, которое получило дачные участки и для поддержания своего уменьшившегося бюджета стало выращивать картофель и овощи, а их избыток продавать на рынке. К сожалению, фермеры, получающие товарный картофель, составляют ничтожную долю в общей продукции, причем тенденции к росту пока не наблюдается.

Изменение структуры посевных площадей вызвало ряд серьезных проблем [5]. В колхозах и совхозах агрономы следили за технологией выращивания культур, получением чистосортного и здорового от вирусов посадочного материала, руководили мероприятиями по защите картофеля от вредителей и болезней. На огородах же произ-

водством картофеля занимаются люди, не имеющие сельскохозяйственного образования, а часто (городские жители) и практических навыков. Так, многие считают, что плоды томатов буреют от тумана, который во второй половине лета по ночам окутывает растения, т.е. помещают телегу впереди лошади (прохладные ночи и капельно-жидкая влага способствуют быстрому размножению фитофторы). Поэтому в Центральной России почти всегда помидоры, выращенные в открытом грунте, убирают зелеными, не дожидаясь их сгнивания от фитофторы. Россия — страна вечно зеленых помидоров.

Большие посевные площади в коллективных хозяйствах позволяли проводить севооборот, при котором картофель ежегодно выращивали на новом месте. На маленьких частных огородах картофель год от года остается на одном и том же месте, в связи с чем усиливается угроза от вредителей (таких, как ко-

лорадский жук) и болезней, связанных с почвенной инфекцией — некоторых бактерий и вирусов, ризоктониоза, а с учетом образования ооспор — и фитофтороза.

Отсутствие знаний и низкие финансовые возможности резко снизили применение пестицидов, что сказалось на усилении вредоносности некоторых патогенов, и прежде всего фитофторы. Меньше стали использовать минеральные удобрения, так как на мелких дачных участках картофель обычно удобряют органическими — навозом или компостом. Сейчас российский картофель, наверное, самый экологически чистый, система его выращивания соответствует принципам биологического земледелия.

К этим субъективным причинам прибавились и объективные, связанные с накоплением новых, более агрессивных штаммов, часто поражающих не только листья, но стебли и черешки, что приводит к быстрой дефолиации растений. Поскольку 80% площадей под картофелем в России находятся в зоне повышенного риска (эпифитотии фитофтороза повторяются не реже одного раза в три—пять лет), потери от болезни очень велики. Например, в 1999 г. болезнь была зарегистрирована на площади в 1 млн га.

Нельзя сказать, что зарубежные университеты и компании не обеспокоены сложившимся положением. Голландские компании организовали на территории России в нескольких хозяйствах демонстрационное выращивание картофеля по голландской технологии и, что очень важно, финансируют программы обучения фермеров и огородников, привлекая прекрасных специалистов из институтов фитопатологии и картофельного хозяйства. Грант Британского Королевского общества позволил сотрудникам МГУ работать в ведущем центре по генетике фитофторозовых оомицетов — Лаборатории Д.Шоу

университета Северного Уэллса. Американская программа CRDF оказала финансовую поддержку сотрудникам МГУ и ВНИИ фитопатологии в сборе штаммов фитотрофы на огромной территории Сибири и Дальнего Востока и их анализе в России и Корнеллском университете. Сейчас изучение популяций фитотрофы и устойчивости картофеля поддерживается грантом MNТC. Несколько лет назад по инициативе ученых Корнеллского университета была создана Международная программа по изучению фитотрозы картофеля, в которой, в частности, активно участвуют сотрудники ВИРа, институты картофельного хозяйства, фитопатологии и МГУ. При поддержке химических и биотехнологических фирм устраиваются международные встречи исследователей фитотрофы в Польше и в Мексике, стажировки молодых российских исследователей в США, Мексике и Польше, а некоторые научные проекты по селекции картофеля в ВИРе и Институте картофельного хозяйства получают финансовую помощь.

Показателем обеспокоенности положением с картофелем в России стала недавняя беседа с исполнительным директором программы СЕЕМ К.Раманом в «Nature» [6]. Надо сказать, что краски в статье значительно сгущены. Овощные рынки показывают, что никакой катастрофы пока нет, ирландская трагедия в России не повторится, но тем не менее, если вовремя не принять необходимых мер, урон от фитотрофы может привести к достаточно серьезным последствиям. Поэтому финансовая помощь программам по защите картофеля и томатов от фитотрозы, как российская, так и международная, очень важна, особенно с учетом того, что исследования в этом направлении, проводимые в России, весьма перспективны и в научном, и в практическом плане.

В связи с недостатком средств на приобретение зарубежных пестицидов у нас стали уделять внимание нетрадиционным методам борьбы с фитотрозом. Так, А.В.Филиппов (ВНИИ фитопатологии) пред-

ложил предпосевную обработку клубней низкочастотным электрическим током, которой заинтересовались исследователи в разных странах; О.Л.Озерецковская (Институт биохимии им.А.Н.Баха) с коллегами разработали методы применения химических и биологических иммуномодуляторов — элиситоров, повышающих иммунные свойства растения; В.Г.Джавалия (Институт фитопатологии) выделил из бактерии псевдомонады белок, ингибирующий вирусные и грибные паразиты картофеля, в том числе фитотрофу. Совместно с Центром биоинженерии РАН и другими учреждениями они создали генетическую конструкцию и ввели ее в картофель. Эти трансгенные растения значительно повышают устойчивость к болезням. Таким образом, современная концепция интегрированной защиты картофеля ориентирована на использование нехимических (организационно-хозяйственных, агротехнических и биологических) методов и ограниченное применение химической защиты. ■

Литература

1. Дьяков Ю.Т., Долгова А.В., Рыбакова И.Н. и др. // Журн. общ. биологии. 1994. Т.55. С.179—188.
2. Goodwin S.B., Cohen Y., Fry W.E. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1994. V.91. P.11591—11595.
3. Niederchauser J.S. // Annu. Rev. Phytopathol. 1993. V.31. P.1—21.
4. Elansky S., Smirnov A., Dyakov Yu. et al. // European J. of Plant Pathol. 2001. V.107. P.1—7.
5. Dyakov Yu.T., Derevjagina M.K. // Pesticide Outlook. 2000. V.11. P.230—232.
6. Schiermeier Q. // Nature. 2001. V.410. P.1011.

Накопление карбонатов в холодных водах

(182-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук

*Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН
Москва*

Разрезы в мезозойских и кайнозойских карбонатных осадках океана — уникальные объекты геологических исследований. Такие разрезы, особенно те, что сложены относительно мелководными осадками, заключают в себе записи разнообразных взаимосвязанных океанологических, климатических, биологических и других процессов, расшифровка которых дает возможность в деталях проследить изменения в общей системе циркуляции водных масс, а также планетарного климата.

Многочисленные разрезы мелководных карбонатных осадков вскрыты глубоководными скважинами главным образом в тепловодной области Мирового океана, в пределах так называемых карбонатных платформ. Благодаря этому процесс накопления карбонатов в тропических и субтропических зонах и его эволюция во времени достаточно хорошо изучены. Но практически неизвестно, как это происходит в холодных водах умеренных и высоких широт. Неясно, какие факторы ответственны за осаждение и сохранность карбонатов на дне океана в этих зонах и до какой степени разрезы в карбонатных осадках, накапливавшихся в хо-

лодных водах, отражают различные биотические и абиотические события прошлых геологических эпох.

Именно эти проблемы предстояло решать в 182-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн», который состоялся в самом конце 1998 г. под руководством американских специалистов Д.Фири из Национального исследовательского совета и Э.Хайна из отдела морских наук Университета Флориды. М.Мэлони представлял Программу глубоководного бурения [1].

Бурение проводилось в пределах шельфа и верхней части континентального склона к югу от Австралии. Этот район был выбран не случайно, поскольку он представляет собой относительно мелководную выровненную поверхность, на которой в течение всей второй половины кайнозоя накапливались карбонатные осадки, практически лишённые терригенного материала из-за отсутствия сноса с континента. Ввиду высокоширотного положения района на стадии раскрытия пролива между Антарктидой и Австралией и влияния холодного Циркум-Антарктического течения в более поздние эпохи карбонатные осадки здесь формировались в холодноводных условиях. Таким образом, район бурения представляет собой ана-

лог карбонатных платформ, широко распространенных в тепловодных областях океанов.

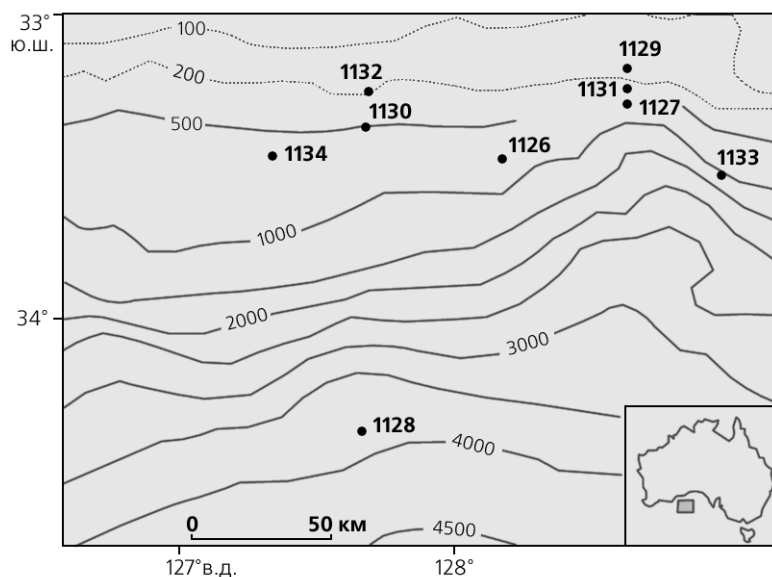
Кроме того, в рейсе предстояло, во-первых, получить материалы для расшифровки эволюции Южного океана, во-вторых, восстановить историю колебаний уровня океана в этом регионе и выяснить, в какой мере они влияли на процесс карбонатонакопления в холодноводных условиях; третьей задачей было определение физико-химических характеристик флюидов, циркулирующих внутри разрезов холодноводных карбонатных осадков, и их влияния на диагенетические процессы.

Всего в рейсе было пробурено 27 скважин, расположенных в девяти точках в интервале глубин 218—3875 м. На самую большую глубину (617 м) в осадки проникла скважина 1131А, а наиболее древние (среднеэоценовые) осадки вскрыты скважинами 1126, 1128 и 1134. В результате получено более 3,5 км керна, комплексное изучение которого поможет решить многие геологические и океанографические проблемы. Предварительные наблюдения и анализ полученных материалов позволили участникам рейса сделать ряд интересных выводов.

Установлено, например, что захороненные в четвертичных осадках шельфа тела, выделяв-

шиеся на сейсмических записях, размером в основании до $0.7 \times 10 \text{ км}^2$ и высотой в несколько десятков метров, — своеобразные мшанковые рифы. По строению они подобны органическим постройкам, которые хорошо известны в наземных кайнозойских разрезах южной части Австралии. На шельфе они сложены главным образом ветвящимися формами мшанок и (в меньшем количестве) раковинами моллюсков. Предполагается, что формирование этих структур происходило дискретно — периоды их интенсивного роста чередовались с периодами его прекращения, по времени совпадающими соответственно с фазами высокого и низкого стояния уровня океана. Если эта модель верна, встает вопрос о возможном чередовании в глобальном масштабе периодов формирования тропических коралловых рифов (во время межледниковий) и подобных мшанковых построек (во время ледниковых периодов).

В разрезах семи скважин обнаружены рассолы, концентрация которых колебалась от 85 до 105%. В результате их взаимодействия с органическим углеродом осадки характеризуются исключительно высокими содержаниями метана (более 700 г/т) и сероводорода (более 150 г/т). Предполагается, что органическое вещество, которое служило источником формирования этих газов, периодически поставлялось с австралийского мелководья сильными штормами. В свою очередь рассолы формировались на осушавшемся шельфе во время низкого стояния уровня моря, в испарявшихся озерах, и затем проникали в подстилающие осадки.



Положение скважин, пробуренных в 182-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» по Программе океанского бурения. Серый прямоугольник на врезке — район исследований. Черные кружки с номерами — скважины.

Вопреки тому, что ожидалось перед рейсом, карбонатные осадки оказались сильно преобразованными. Это обусловлено тем, что в результате окисления больших объемов органического вещества и образования высоких концентраций сероводорода в осадках значительно увеличивался восстановительный потенциал (рН) в поровых флюидах, что приводило к растворению части легкорастворимых карбонатов, а повышенная щелочность создавала условия, благоприятные для формирования доломитов.

Полученные материалы в значительной мере расширяют знания о кайнозойской эволюции Южного океана. Режим осадконакопления в данном регионе менялся от преимущественно терригенного в раннем

палеогене, когда благодаря гумидным условиям на континенте в океан поставлялись большие объемы обломочного материала, до карбонатного морского в неогеновое время, когда климат стал аридным. Заложение и становление современной системы циркуляции в Южном океане, которая во многом определяет глобальную циркуляцию водных масс, отмечены сменой в глубоководном разрезе скважины 1128 песчаных и алевроитовых фаций, накапливавшихся главным образом ниже уровня карбонатной компенсации в условиях низкого содержания кислорода, глинистыми и карбонатными осадками, указывающими на увеличение глубины карбонатной компенсации и усиление вентиляции придонных вод. ■

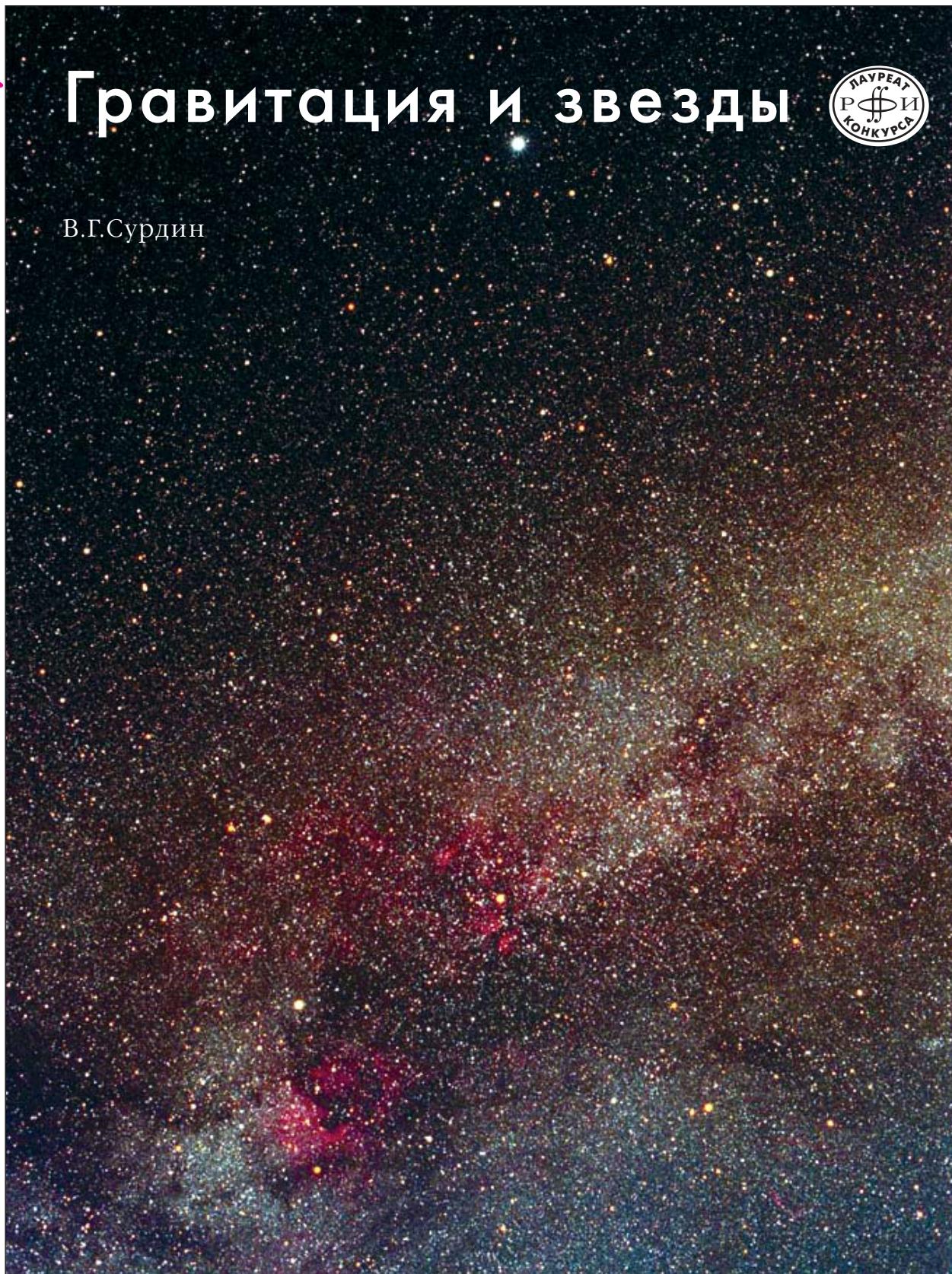
Литература

Feary D.A., Hine A.C., Malone M.J. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 2000. V.182.

Гравитация и звезды



В.Г.Сурдин



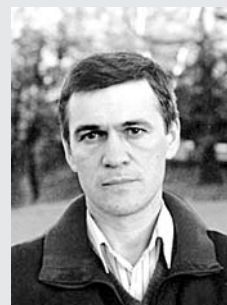
Звездное небо: Млечный Путь в созвездиях Лебеда и Лиры.

Главный персонаж Вселенной

Практически все, что мы видим в космосе, — это звезды, более или менее похожие на Солнце. Разумеется, существует вещество и вне звезд: планеты, их спутники, кометы и астероиды, межзвездные газ и пыль. Но все это — незначительный «довесок» к гигантским звездам, объединенным в агрегаты различного масштаба: от двойных систем до галактик и их скоплений. Правда, в последние годы появляется все больше аргументов, что во Вселенной присутствует небарионное вещество, состоящее не из протонов и нейтронов, а из частиц неясной пока природы; его взаимодействие с обычным веществом происходит только через силу гравитации [1]. Но даже если это необычное вещество действительно существует, обнаружить его удастся, лишь изучая поведение взаимодействующего с ним нормального вещества, т.е. звезд — главного *наблюдаемого* персонажа природы.

Вселенная не всегда состояла из звезд: более 10 млрд лет назад, когда от начала ее расширения прошло не более 300 тыс. лет, наш мир был заполнен очень горячим однородным веществом и излучением, причем по плотности энергии излучение превосходило вещество. Когда возраст Вселенной превысил 300 тыс. лет и наполняющая ее материя остыла примерно до 4000 К, плотность энергии излучения стала ниже, чем вещества, и с тех пор это различие только усугублялось. Но еще многие сотни миллионов лет после того, как вещество стало основным компонентом Вселенной, оно оставалось практически однородным; лишь звуковые волны, бегущие в разных направлениях, слабо возмущали его плотность.

До сих пор астрономы не знают точно, как произошло деление почти однородного вещества на звезды, но каким-то образом это случилось: когда возраст Вселенной еще не достиг 1 млрд лет, почти все ее барионное вещество оказалось поделено на плотные газовые шары-звезды с характерной массой 10^{30} кг, объединенные в галактики с массами порядка 10^{41} кг. Принципиальных трудностей в понимании этого процесса нет [2, 3]. Распространение звуковых волн создает в космическом веществе перепады плотности. В обычной звуковой волне в пределах комнаты сила упругости газа значительно выше силы гравитационного взаимодействия его частиц, поэтому в земных условиях гравитация не мешает циклическому колебанию звуковых волн. Но в космических масштабах эта картина может измениться: если в некоторых областях повышенной плотности газа его давление не способно противостоять его же собственному тяготению, то случайно возникшее уплотнение продолжит сжиматься. По-видимому,



Владимир Георгиевич Сурдин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга. Область научных интересов — происхождение и эволюция звезд и звездных скоплений. Постоянный автор журнала «Природа».

именно такой процесс *гравитационной неустойчивости* породил звезды и звездные системы [4], «власть» в которых окончательно «захватила» гравитация.

Гравитация — слабая, но всемогущая

Итак, в мире звезд «царствует» гравитация. Остальные физические взаимодействия — электромагнитное, слабое, сильное ядерное — практически никакой роли в движении звезд и в эволюции звездных систем не играют. Сила гравитации определяется чрезвычайно простым законом, изложенным И.Ньютоном в «Началах натуральной философии» (1687) и описывающим взаимодействие двух материальных точек. Но он применим и к протяженным телам, поскольку каждое из них можно представить в виде совокупности точек. Закон Ньютона гласит: две материальные точки, обладающие массами M_1 и M_2 , притягиваются друг к другу с одинаковой силой, равной произведению их масс, деленному на квадрат расстояния между ними и, разумеется, умноженному на некоторую константу G (от лат. *gravitas* — тяжесть), значение которой зависит от единиц измерения массы, силы и расстояния:

$$F = \frac{GM_1M_2}{R^2}.$$

В системе СИ ($[M]$ — килограмм, $[R]$ — метр, $[F]$ — ньютон) значение $G = (6.673 \pm 0.001) \cdot 10^{-11}$. Обратите внимание, как коротка запись числа G — всего четыре значащие цифры; другие физические константы содержат по 8–10, а порой и 12 цифр. Почему же именно значение G измерено с такой низкой точностью? А потому, что гравитация — слабая сила, менее других проявляющая себя в лабораторных экспериментах. Очень трудно определить притяжение двух тел с аккуратно измеренной массой. Если два огромных слона ($M_1 = M_2 = 4$ т) стоят в лаборатории, тесно прижавшись друг к другу ($R = 1$ м), их взаимное гравитационное притяжение составляет всего 0.1 г. А вот если бы один слон состоял только из протонов, а другой — только из электронов, они притягивались бы с силой 10^{30} т! К счастью, все слоны, планеты и звезды состоят практически из равного количества протонов и электронов, электрическое взаимодействие которых уравнивается. Зато гравитационное взаимодействие всех частиц суммируется, поскольку в природе нет гравитационных зарядов разного знака. Поэтому крайне слабая сила всемирного тяготения, почти незаметная между лабораторными телами, доминирует в мире космических тел.

Великие теоремы притяжения

Закон гравитации прост для математика, но физик и астроном помнят, что реальные тела не точки, а протяженные объекты. Значит, производя расчеты, придется иметь дело с интегрированием, т.е. с вычислением суммы сил, действующих на пробное тело со стороны всех частей какой-либо звезды или планеты. В наше время такую задачу нельзя назвать сложной: компьютер решит ее за секунды. Но во времена Ньютона многократное суммирование было чрезвычайно трудоемкой операцией, которую приходилось выполнять пером на бумаге. Поэтому Ньютон не продвинулся бы далеко в исследовании Вселенной, если бы не две замечательные теоремы, которые он доказал.

Теорема 1. *Сферическое тело постоянной плотности притягивает находящуюся снаружи материальную точку так, как будто вся масса тела сосредоточена в его центре.*

Эта изумительная теорема дала возможность небесным механикам, вычисляющим движение звезд, планет и космических аппаратов, свести большинство задач о взаимодействии космических тел к задаче о притяжении двух точек. Счастье в том, что большинство небесных тел можно уподобить последовательности вложенных друг в друга сфер постоянной плотности. Например, у почти шарообразной Земли плотность растет к центру; разбив ее на бесконечное количество сферических слоев, мы убеждаемся, что каждый

из них притягивает внешнюю точку так, будто вся его масса сосредоточена в центре. Поэтому никакого суммирования сил не требуется: с высокой степенью точности Земля притягивает внешние тела как точка.

Теорема 2. *Если материальную точку поместить внутри однородной сферы (причем в любом месте, а не только в центре), то она не ощутит притяжения этой сферы, поскольку силы, действующие на нее со стороны всех элементарных частей сферы, в точности уравновешиваются.*

Эта теорема очень помогла тем специалистам, которые изучают недра небесных тел: стало возможным решать задачи, мысленно поместив наблюдателя внутрь планеты и не заботясь о тех слоях вещества, которые находятся снаружи от него, поскольку их суммарное притяжение равно нулю.

Таким образом, вне сферы вы чувствуете, будто вас притягивает точка, а внутри сферы вообще невесомость. Благодаря этому даже во времена Ньютона, при полном отсутствии вычислительной техники, удавалось чрезвычайно точно решать важнейшие задачи: о внутреннем строении планет, в частности Земли, и об их взаимном притяжении и движении в пространстве.

Ньютон решил и задачу о том, как движутся две материальные точки, например планета и ее спутник, взаимно притягивающие друг друга по закону гравитации: они обращаются по эллиптической орбите вокруг общего центра масс, лежащего в фокусах эллипсов.

Решение Ньютона, полученное в конце XVII в., подтвердило эмпирические законы движения планет, найденные И.Кеплером в начале того же века. Если сила взаимодействия изменяется обратно квадрату расстояния, то спутник действительно должен двигаться по эллипсу, что и обнаружил Кеплер. Но теория Ньютона не только объяснила уже известные закономерности — она открыла и перспективу: эллипс оказался лишь частным случаем траектории; в зависимости от начальной скорости спутника ею могло быть любое коническое сечение — окружность, парабола, гипербола или, в предельном случае, прямая (рис. 1). В полной мере это многообразие возможных траекторий раскрылось в космическую эру.

Гравитация иных миров

Любопытно, что закон тяготения в формулировке Ньютона справедлив только в нашем, трехмерном пространстве. Если бы мы жили в геометрическом пространстве большего или меньшего числа измерений, закон притяжения имел бы иную форму. Легко понять, какую: если напряженность физического поля, связанного с обменом стабильными частицами (фотонами, гравитонами

и т.п.), проинтегрировать по поверхности, окружающей источник этого поля, то должна получиться константа — полный поток частиц. Значит, если бы мы жили в евклидовом пространстве N измерений, то закон Ньютона приобрел бы вид:

$$F \propto \frac{1}{R^{N-1}},$$

например в четырехмерном пространстве сила была бы обратно пропорциональна кубу расстояния.

К чему бы это привело? Будем менять показатель степени при R и посмотрим, как при этом станет двигаться пробное тело. На рис.2 показаны варианты такого движения для целого $n = N-1$, а на рис.3 — для нецелого n в законе

$$F \propto \frac{1}{R^n},$$

Среди наших примеров только для ньютоновского притяжения ($n = 2$) получилась простая замкнутая траектория — эллипс. Известно еще одно значение n , дающее эллиптическую траекторию: это $n = -1$, так называемый закон Гука, по которому меняется натяжение упругой нити. Но в этом случае центр притяжения лежит не в фокусе, а в центре эллипса.

При $n < 3$ движение частицы ограничено: хотя траектория не замкнута, частица не покидает области в виде кольца; такое движение можно считать устойчивым. При $n \geq 3$ устойчивость исчезает: частица либо бесконечно удаляется от центра, либо падает в центр. При небольшом отличии n от 2 траектория имеет вид розетки; такую орбиту могло бы иметь тело, движущееся по эллипсу, ось которого непрерывно поворачивается. В случае $n > 2$ поворот эллипса происходит в направлении движения частицы; в случае $n < 2$ эллипс поворачивается в противоположном направлении. Далее мы увидим, что эти математические этюды имеют важный физический смысл.

Реальное движение планет

Зачем мы «издевались» над простым и изящным законом Ньютона, дающим зависимость $1/R^2$? Дело в том, что, обращаясь к реальным небесным объектам, мы замечаем их отличие от идеальных сфер. Форма Земли или Солнца лишь в первом приближении похожа на сферу. Известно, что Земля по причине вращения сплюснута вдоль полярной оси: расстояние между ее северным и южным полюсами на 43 км меньше, чем между противоположными точками экватора. Из-за этого, к сожалению, теорема Ньютона в точности не выполняется, и Земля притягивает к себе не как помещенная в ее центре массивная точ-

ка — а по более сложному закону. Приблизительно его можно записать в форме, подобной ньютоновской:

$$F \propto \frac{1}{R^{2+\delta}},$$

где $\delta \ll 1$ — маленькая добавочка (которая, вообще говоря, может зависеть от R), положительная или отрицательная в зависимости от формы тела. Нарушается простота ньютоновского закона, а значит, нарушается и простота взаимного движения тел. При этом их орбиты, как мы видели, получаются незамкнутыми и гораздо более сложными, чем эллиптические.

Действительно, наблюдая за планетами, астрономы обнаружили, что все они движутся не точно по эллипсам, а скорее по «розеткам». Разумеется, это никого не удивило, поскольку, начиная с Ньютона, все ясно понимали, что простой эллипс, как и сама задача о двух точках, лишь первое приближение к реальности. Учитывая взаимное притяжение планет, обращающихся вокруг Солнца, удалось почти полностью объяснить форму их орбит. Траектории спутников, близких к своим планетам, в основном искажаются из-за несферичности планет, а на движение далеких спутников (в их числе — Луна) решающее влияние оказывает Солнце.

Используя законы Ньютона, астрономы XVIII—XIX вв. достигли высочайшего искусства в вычислении ожидаемых траекторий планет. Если наблюдаемое движение планеты отклонялось от расчетного, причину искали не в основах теории, а на небе — среди еще не открытых космических тел. Триумфом здесь стало теоретическое открытие планеты Нептун, которую «на кончике пера» обнаружили, разыскивая виновника возмущений в движении Урана, француз У.Лeverье и англичанин Дж.Адамс в 1846 г.

Однако уже в XIX в. идиллии пришел конец: когда точность астрономических расчетов возросла, выяснилось, что теория Ньютона все-таки не стыкуется с наблюдениями. По иронии судьбы заметил это недавний триумфатор — Leverье, решивший после открытия Нептуна построить наиболее точную теорию движения всех планет. Такую теорию он действительно построил, т.е. разработал аналитическую схему вычисления положения планет; однако не все в этой схеме получило физическое объяснение.

Например, ближайшая к Солнцу планета Меркурий движется по довольно вытянутой эллиптической орбите, поворот оси которой легко заметить. Обычно этот поворот выражают как скорость углового перемещения перигелия — ближайшей к Солнцу точки орбиты. Наблюдения показывают, что перигелий Меркурия поворачивается на $574''$ за столетие в сторону движения самой планеты. Leverье доказал, что поворот на

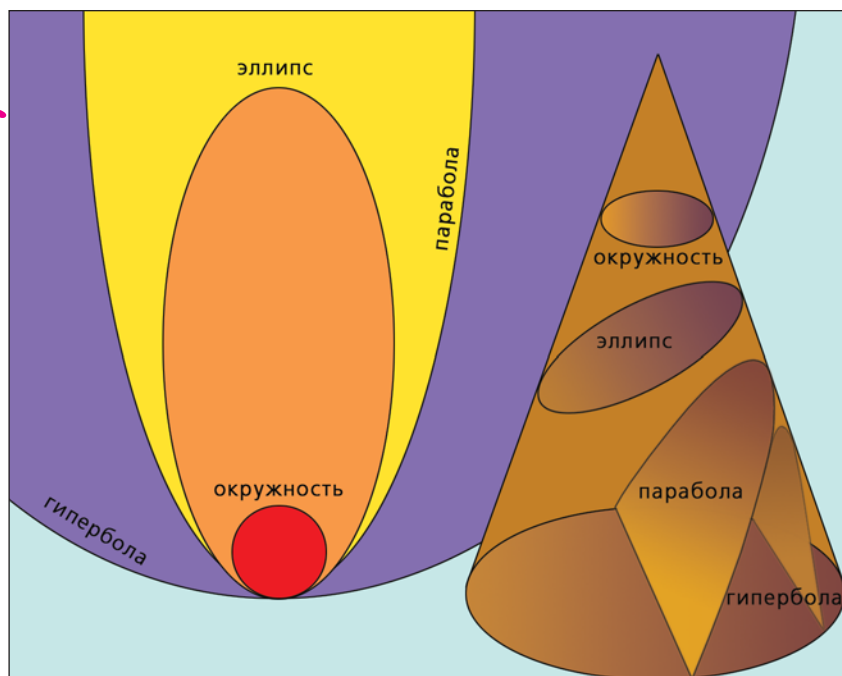


Рис. 1. Траектории движения в задаче двух тел. Все возможные траектории представляются сечениями конуса плоскостью.

531" за 100 лет вызван влиянием других планет — в основном Венеры, Юпитера и Земли. Это 93% от наблюдаемого эффекта; казалось бы, можно радоваться. Но оставшиеся 43" в столетие не давали астрономам покоя: сказывалась профессиональная гордость за пресловутую астрономическую точность [5, 6].

Обнаружив неувязку в движении Меркурия, Лаверье решил, что ему вторично улыбнулась удача, как в случае с Нептуном. Он вычислил параметры неизвестной планеты, которая могла бы находиться внутри орбиты Меркурия и дополнительно возмущать его движение. Этой гипотетической планете даже придумали имя — Вулкан. Ее долго искали, но не нашли. Поэтому к концу XIX в. в небесной механике возник парадокс: ньютоновская физика объясняет движение всех тел Солнечной системы, кроме Меркурия.

Чтобы спасти физику, было предложено множество оригинальных гипотез; самые горячие головы даже покушались на святое — на закон гравитации Ньютона, предлагая его немного модернизировать. Действительно, движение Меркурия удавалось объяснить, если принять $n = 2.00000016$. Но чувство прекрасного не позволяло физикам без отвращения смотреть на закон гравитации в такой форме:

$$F = \frac{GM_1M_2}{R^{2.000000016}}.$$

К счастью, пришел Эйнштейн и объяснил, что теория Ньютона — это лишь первое (хотя и очень хорошее!) приближение к описанию природы,

на самом же деле движение тел и их гравитационное взаимодействие устроены сложнее.

Теория Эйнштейна и сплюснутость Солнца

Вместо мелких поправок к ньютоновской теории тяготения Эйнштейн внес в физику нечто совершенно новое — общую теорию относительности (ОТО). Правда, ее математическая форма не так проста, как у ньютоновской теории, зато она правильно описывает притяжение и движение тел. Когда на основе ОТО было рассчитано движение Меркурия, в частности поворот его эллиптической орбиты, теория сошлась с наблюдениями в пределах такой точности, какую только могут дать современные астрономы. Даже значительно меньший эффект — поворот эллиптической орбиты Земли всего на 4" в столетие — весьма точно объясняется в рамках ОТО [7].

Но спустя время в замечательном согласии эйнштейновской физики с астрономическими наблюдениями был также усмотрен парадокс. Суть его в том, что все расчеты, как по Ньютону, так и по Эйнштейну, проводились для сферического Солнца, будто вся его масса сосредоточена в центре. Но Солнце вращается, значит, сферическим оно быть не может. В телескоп мы наблюдаем вращение его поверхности с периодом 25.4 сут.

Если с таким же периодом вращаются и недра Солнца, то фигура его должна быть сплюснутой с относительной разностью экваториального и полярного радиусов $\Delta r/r \approx 10^{-5}$. Если же внут-

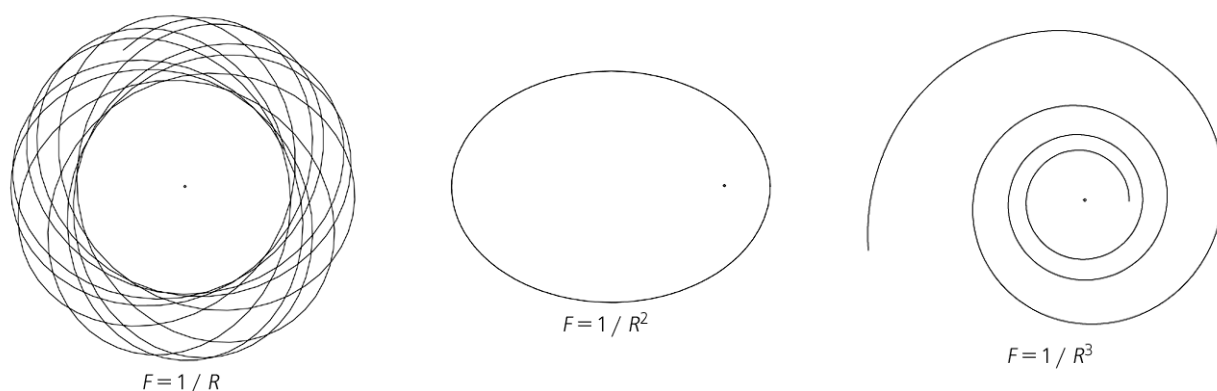


Рис.2. Смоделированные на компьютере траектории движения частицы, обращающейся вокруг центра притяжения под действием силы $F \sim 1/R^n$. Значения $n = 1, 2$ и 3 соответствуют ньютоновскому притяжению в физическом пространстве двух, трех и четырех измерений.

ренность Солнца вращается иначе, то и сплюснутость будет иная.

В 1960-е годы американский физик Р.Дикке, один из создателей конкурирующей с ОТО релятивистской теории (скалярно-тензорная теория Бранса—Дикке), обратил внимание на то, что формулы Эйнштейна используются для расчета движения планет вокруг сферического Солнца. Но раз Солнце вращается и не может быть шаром, значит, нужно принять это во внимание и пересчитать все заново, решил Дикке. В то время технические трудности релятивистских расчетов для неточечных масс уже были преодолимы — появились компьютеры. Но требовалось точно знать, какова форма Солнца и как именно оно вращается. Теория Эйнштейна утверждает, что на силе притяжения объекта сказывается не только отличие его формы от идеального шара, но и характер вращения: даже тяготение идеального шара будет разным в зависимости от того, неподвижен он или вращается. Гравитационное поле вращающе-

гося тела в рамках ОТО имеет вихревой компонент: тело не только притягивает соседние объекты, но и раскручивает их вокруг себя.

В 1969 г. Дикке на основе своих измерений определил сплюснутость Солнца $\Delta r/r = 5 \cdot 10^{-5}$. Для медленно вращающегося Солнца это слишком много; но Дикке указал, что недра Солнца могут вращаться значительно быстрее поверхности. Если основная масса нашей звезды совершает оборот менее чем за 2 сут, то центробежная сила деформирует ее именно так, как показали измерения [8]. В окрестности сплюсненного Солнца закон притяжения, как мы знаем, отличается от $1/R^2$, причем не только в эйнштейновской, но и в ньютоновской теории. Если учесть классический вклад солнечной фигуры в движение перигелия Меркурия, то остающаяся релятивистская поправка уже не совпадает в точности с предсказанием ОТО, а скорее подтверждает (как вы уже, наверное, догадались) теорию гравитации Бранса—Дикке.

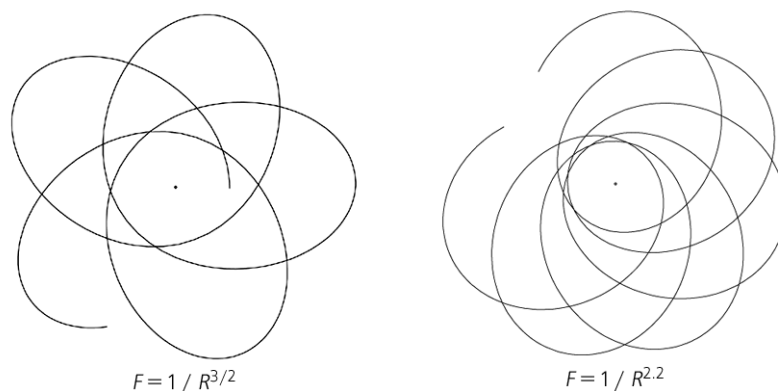


Рис.3. Траектории частицы при n немного меньшем (слева) или большем, чем 2. Орбита, близкая к эллиптической, все время поворачивается.

Правда, измерения других исследователей не подтвердили сильную сплюснутость Солнца. До конца эта проблема не решена по сей день. Уже многие годы над ней работают астрономы и физики: одни изучают Солнце, измеряют скорость его вращения и степень сплюснутости, другие рассчитывают движение планет вокруг вращающейся и сжатой звезды в рамках различных теорий тяготения.

Жидкие тела вращения

Итак, гравитационное поле звезды зависит от ее формы и скорости вращения. Но и сама форма зависит от вращения. Посмотрим, как связаны эти параметры. На рис.4 показана последовательность фигур равновесия самогравитирующих тел. Странным словом «самогравитирующее» обозначают тот факт, что тело подвержено только действию собственной силы тяжести, которой противостоит внутреннее изотропное давление. Рисунок построен в координатах «квадрат безразмерного углового момента j — квадрат безразмерной угловой скорости ω »:

$$j = \frac{J\rho^{1/6}}{2M^{5/3}\sqrt{\pi G}}, \quad \omega = \frac{\Omega}{\sqrt{4\pi G\rho}},$$

где M , ρ , J , Ω — масса, плотность, момент импульса и угловая скорость вращения тела соответственно. Линии на рисунке показывают решения уравнений равновесия, т.е. указывают, с какой угловой скоростью будет вращаться тело, обладающее определенным моментом импульса. Темными линиями указаны решения для тел из несжимаемой жидкости. Почему взяты жидкие? Это удобная абстракция: идеальная жидкость под давлением не меняет свою плотность, но при изменении вращения меняет форму — поверхность жидкости всегда перпендикулярна сумме всех действующих на нее сил, включая центробежные. Некоторые космические тела, например планеты, действительно можно считать жидкими, поскольку их плотность слабо меняется с глубиной. Но для звезд эта абстракция не подходит: плотность их вещества сильно меняется от центра к поверхности. Поэтому для них рассчитана последовательность фигур сжимаемых тел (фигуры Джинса).

Сначала представим себе невращающееся жидкое тело; разумеется, оно шарообразно. Начнем его раскручивать. Угловая скорость тела растет, и его фигура становится все более и более сплюснутым эллипсоидом вращения, который по традиции называют сфероидом Маклорена. Эволюционируя вдоль последовательности Маклорена, тело достигает точки максимальной угловой скорости. При дальнейшем росте момента импульса наш эллипсоид уплощается настолько, что начинает бы-

стро возрастать его момент инерции (за счет удаления массы от оси вращения), а угловая скорость при этом уменьшается. Тело становится все более плоским и похожим на диск.

Может показаться, что в приложении к космическим телам наше исследование лишено смысла: где это видано, чтобы кто-то раскручивал планету или звезду. Заметим, что иногда бывают ситуации, когда взаимодействие двух близких тел (например, планеты и ее спутника) приводит к существенному изменению их момента импульса. Но чаще тела действительно сохраняют момент, однако заметно меняют плотность. Например, в ходе формирования звезды из разреженного облака ее размер уменьшается почти в 10^6 раз, а плотность возрастает в $\sim 10^{17}$ раз! Математически это эквивалентно росту j .

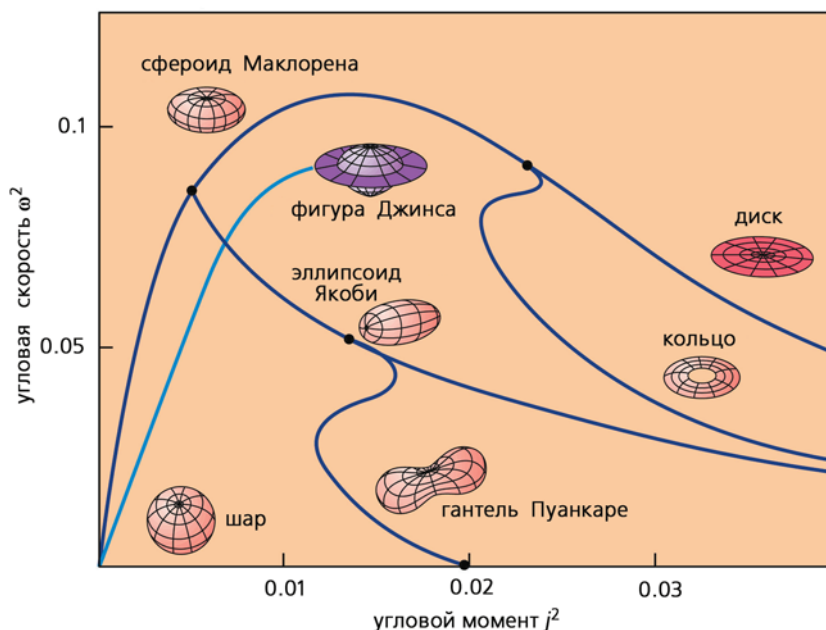
Продолжим наш мысленный эксперимент, глядя на рис.4. От последовательности фигур Маклорена в двух точках бифуркации отходят новые кривые. Это также последовательности фигур равновесия, которые были открыты позже, чем сфероид Маклорена. Если сообщим телу момент импульса чуть больший, чем у первой точки бифуркации, и немного возмутим его форму, оно может скачком превратиться из «тыквообразного» сфероида Маклорена в «дынеобразный» эллипсоид Якоби, т.е. станет не сплюснутым, а вытянутым, и будет устойчиво вращаться вокруг оси, перпендикулярной направлению вытянутости. Если раскручивать еще сильнее, тело будет становиться все более вытянутым, пока не превратится в спицу.

Вторая точка бифуркации на кривой Маклорена связана с превращением диска в кольцо. При определенном моменте выше критического диск становится неустойчивым: за счет центробежных сил вещество из его серединки может вдруг отскочить к периферии, и получится кольцо. Казалось бы, это математическая экзотика, но недавно в областях формирования звезд были обнаружены именно такие объекты [9].

На линии Якоби также видна точка бифуркации. У сильно вытянутого эллипсоида при моменте импульса больше критического вещество может из центра отойти к краям, создав в середине перемычку. Получается фигура, похожая на земляной орех, — гантель Пуанкаре.

Почти каждая из представленных здесь фигур носит имя известного математика или физика. Вот так «просто» можно прославить свое имя в науке — достаточно найти новую фигуру равновесия вращающегося тела. И многим это удалось: на рисунке представлены далеко не все возможные формы вращающихся жидких тел. Некоторые из них весьма сложны, и любая может быть присуща планете или звезде. А это значит, что их соседи-спутники будут взаимодействовать не с материальной точкой, а, например, с бешено вращающейся гантелью. Интересней-

Рис.4. Формы вращающихся тел. Указаны последовательности фигур равновесия несжимаемых, жидких тел (темные линии) и сжимаемых, газовых тел (светлая линия). Оси вращения у всех фигур на рисунке расположены вертикально.



шая задача — исследовать движение спутника такой гантели!

Приливы в звездах

От формы звезды зависит взаимодействие с соседями, а те в свою очередь влияют на ее форму. Рассмотрим близкий пролет двух случайных звезд (рис.5). Если в процессе сближения они остаются шарообразными, то притягиваются по закону Ньютона, а значит, движутся по гиперболическим траекториям и после сближения вновь расходятся «на бесконечность». На самом же деле взаимное приливное влияние искажает форму звезд — они становятся вытянутыми эллипсоидами, и это влияет на их движение.

Приближаясь друг к другу, звезды вытягиваются вдоль соединяющей их прямой. Этот эффект называют *приливым* по аналогии с морскими приливами, возникающими на Земле под влиянием Луны. Как и в земных океанах, на поверхности звезды возникают приливные выступы — горбы, а поскольку звезды движутся, приливный горб пытается отследить направление между ними. Но в силу инерции и вязкости он не может точно следовать движению звезд: сначала запаздывает, а затем опережает его. В результате взаимодействие происходит не по ньютонову закону: более близкий горб притягивается сильнее, чем более далекий, а следовательно, возникает составляющая силы притяжения, тормозящая движение звезды по орбите и уводящая ее с простой гиперболической траектории. Звезда переходит на эл-

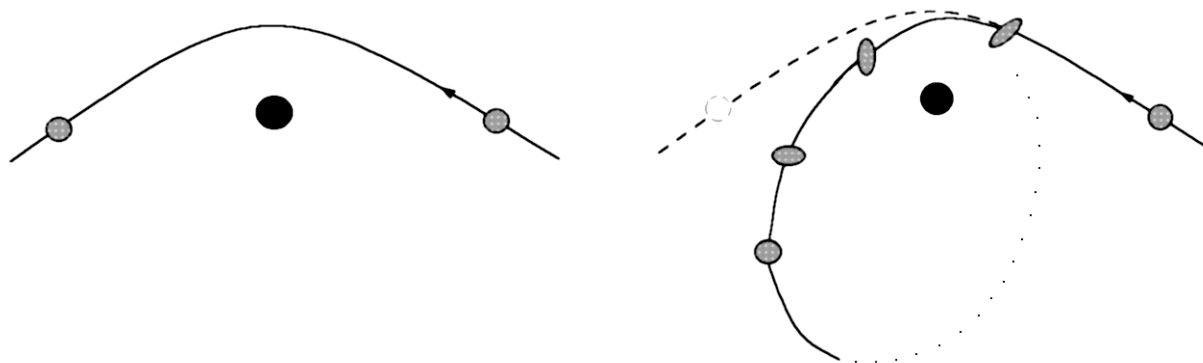


Рис.5. Близкий пролет двух звезд без учета (слева) и с учетом приливного эффекта. Для простоты одна из звезд (черная) изображена неподвижной и абсолютно жесткой, недеформируемой.

липтическую орбиту и оказывается навсегда привязанной к тому светилу, с которым она случайно сблизилась. Так из двух одиночных звезд образуется двойная система.

Формирование двойных систем влияет на эволюцию звездного скопления, в котором они живут [10]. Объединившись, звезды весьма своеобразно взаимодействуют друг с другом и с одиночными членами скопления, заставляя последних двигаться более интенсивно. От встреч с другими звездами быстро эволюционируют и сами двойные све-

тила. Некоторые из них сближаются и обмениваются веществом, что приводит к их «омоложению» и порождает весьма экзотические объекты, обнаруженные за последние годы в звездных скоплениях — рентгеновские и ультрафиолетовые источники, вспыхивающие звезды и быстрые пульсары, молодые белые карлики и «омолодившиеся» нейтронные звезды. А в основе этого астрофизического разнообразия лежит гравитационное взаимодействие звезд, в котором еще немало загадок. ■

Литература

1. Смольников А.А. Темная материя во Вселенной // Природа. 2001. №7. С.10—19.
2. Силл Дж. Большой взрыв: рождение и эволюция Вселенной. М., 1982.
3. Сурдин В.Г., Ламзин С.А. Протозвезды. М., 1992.
4. Джинс Дж. Движение миров. М., 1933.
5. Бергман П. Загадка гравитации. М., 1969.
6. Роузвер Н.Т. Перигелий Меркурия: от Лаверье до Эйнштейна. М., 1985.
7. Боулер М. Гравитация и относительность. М., 1979.
8. Дикке Р. Гравитация и космология. М., 1972.
9. Сурдин В.Г. Рождение звезд. М., 2001.
10. Сурдин В.Г. Судьба звездных скоплений // Природа. 2001. №4. С.44—50.

Гомер и исследование океанов

По мнению Жаклин Гуа (J.Gou; Национальный музей естественной истории, Париж), анализ текстов «Илиады» и «Одиссеи» Гомера позволяет рассматривать их не только как литературные шедевры, но и как настоящие трактаты, содержащие множество сведений о море и его обитателях (L'Histoire. 2001. №252. P.58—61. Франция). Большое число понятий и терминов, которыми пользуются сегодня океанографы, заимствованы из греческого языка, в том числе и само слово «океан». Это связано с тем, что во второй половине XIX в., когда началось активное изучение морей, ученые обратились к повествованиям о странствиях Одиссея и его наблюдениям за морской средой: ветрами, волнами, течени-

ями, жизнью морских организмов. Так в науку вошли термины «планктон» (организмы, переносимые течениями), «нектон» (активно плавающие организмы), «бентос» (обитатели морского дна) и др.

Лазерная обсерватория пострадала от землетрясения

28 февраля 2001 г. на территории штата Вашингтон (крайний северо-запад США) произошло мощное землетрясение ($M=6.8$ по шкале Рихтера). Оно причинило значительные убытки, но сильнее всего ученые восприняли урон, нанесенный LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory — Лазерная интерферометрическая обсерватория для регистрации гравитационных

волн), которая была построена в г.Ханфорде незадолго перед этим событием.

Чрезвычайно чувствительное оборудование, предназначенное для фиксации гравитационных волн, не выдержало сотрясения, потеряло настройку и лишилось части специальных зеркал. Был сорван эксперимент, запланированный совместно с аналогичной обсерваторией, что расположена на крайнем юге США, в штате Луизиана.

К концу мая 2001 г. ремонтно-восстановительные работы уже закончились. Весь проект, результатов которого с нетерпением ожидают физики, космологи, астрономы, астрофизики и философы, начнет в полную меру осуществляться в 2002 г.

Science. 2001. V.292. №5520. P.1279 (США).

Современная геодинамика: достижения и проблемы

В.Е.Хаин

Геодинамика как самостоятельная дисциплина в области наук о Земле оформилась в 70-е годы прошлого столетия. Ее развитию в основном способствовало появление и быстрое распространение новой тектонической концепции — теории тектоники литосферных плит, которая вытеснила господствовавшее в середине века представление о ведущей роли в смещениях и деформациях земной коры вертикальных движений. Она вывела на первое место горизонтальные перемещения литосферных плит, включавших не только кору, но и верхи мантии. Объяснялись такие перемещения тепловой конвекцией в астеносфере. Дальнейшая разработка теории тектоники плит стала предметом новой синтетической науки — геодинамики, изучающей физические процессы, которые обуславливают развитие твердой Земли в целом, и силы, их вызывающие. Геодинамика привлекает данные не только всех разделов геофизики (от гравиметрии до сейсмологии), но и всех собственно геологических (геотектоники, петрологии, литологии), а также геохимических (изотопной геохимии в особенности) дисциплин.

Наука не стоит на месте, а ее прогрессу способствует в основном появление новых методов и инструментов исследований. В этом смысле последние десятилетия ушедшего века были для наук о Земле, и следовательно для геодинамики, достаточно успешными. Суперкомпьютеры дали



Виктор Ефимович Хаин, академик РАН, главный научный сотрудник Института литосферы РАН, заслуженный профессор геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, специалист в области общей и региональной геотектоники. Лауреат Государственных премий СССР (1987) и РФ (1995). Постоянный автор «Природы», долгие годы был членом редколлегии журнала.

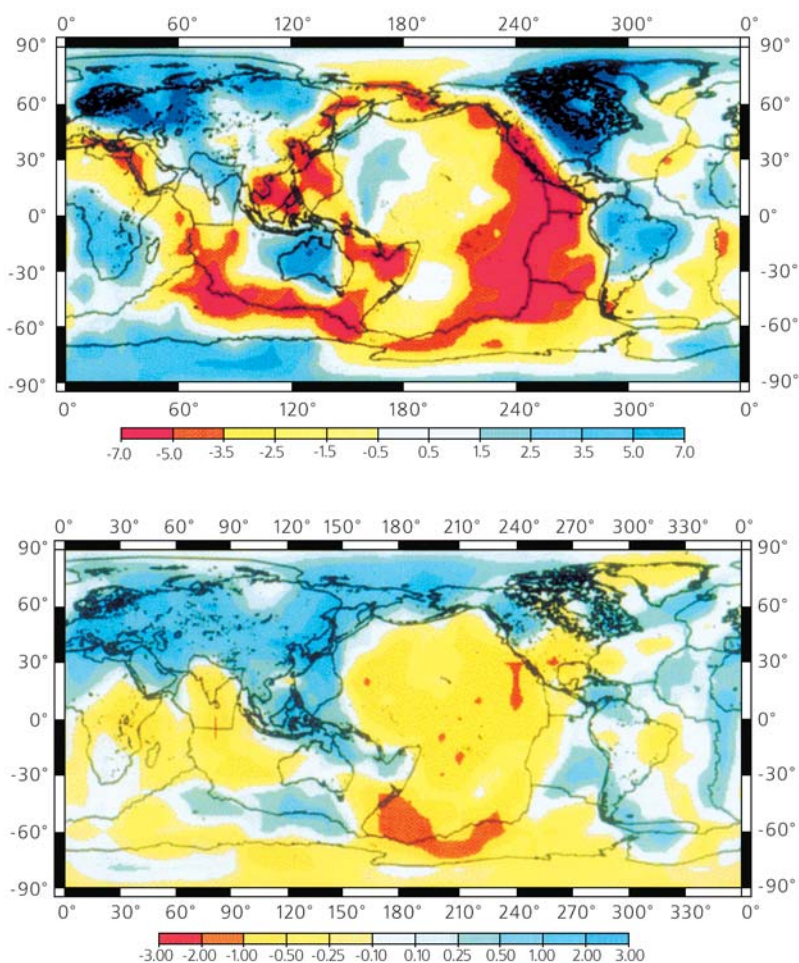
возможность быстро обрабатывать десятки и сотни тысяч записей прохождения через земную твердь колебаний, вызываемых землетрясениями. Обнаружилось, что такие колебания распространяются через различные оболочки твердой Земли и ее ядро с различной скоростью, т.е. их вязкость, а следовательно, и температура изменяются не только по вертикальному разрезу (что, естественно, предполагалось и ранее), но и в латеральном направлении. Последнее же возможно в случае активного перемещения вещества. Иначе бы давно установилось равновесие и однородность распределения вязкости и температуры в горизонтальном сечении.

Принципиально важным и новым было то, что эти наблюдения касались не только верхней мантии, но и нижней, лежащей на глубине более 660–670 км. А ведь еще сравнительно недавно инте-

ресы ученых ограничивались верхней мантией. Выдвинутый по инициативе В.В.Белоусова в 60-е годы международный проект так и назывался «Проект верхней мантии», а в 70-е его сменил проект «Литосфера», затрагивающий еще меньшие глубины. Данные сейсмического «просвечивания» Земли, получившего название «сейсмотомаграфия», показали, что активные процессы, приводящие в конечном счете к изменениям структуры земной коры и рельефа, зарождаются значительно глубже — в нижней мантии и даже на ее границе с ядром. Да и само ядро, как совсем недавно выяснилось, участвует в этих процессах, и к тому же его твердое «ядрышко», оказывается, ведет себя достаточно самостоятельно — вращается с большей скоростью, чем остальная планета.

Появление сейсмотомаграфии определило переход геодинамики

© В.Е.Хаин



Сейсмотомографические модели земных недр для глубин 100 и 310 км (Montagner J.-P., 2000). Вверху: на глубине 100 км верхняя мантия разогрета под границами плит и в особенности под срединно-океанскими хребтами (мы наблюдаем низкие сейсмические скорости). Напротив, под континентами верхняя мантия холодная. Внизу: на глубине 310 км корреляция с поверхностной тектоникой отсутствует. Амплитуда аномалий ниже 300 км заметно уменьшается. В зонах субдукции сейсмические скорости повышены (в мантию погружаются холодные плиты). Только быстрораспрединговые хребты еще характеризуются медленными скоростями. Здесь и далее на рисунках оттенками синего цвета показаны повышенные (относительно средних, в %) скорости распространения сейсмических волн, а оттенками красного цвета — пониженные скорости.

на следующий уровень, и в середине 80-х годов она породила глубинную геодинамику, ставшую самым молодым и перспективным направлением в науках о Земле. В решении новых задач на помощь, кроме сейсмотомографии, пришли и некоторые другие науки: экспериментальная минералогия, благодаря новой аппаратуре имеющая теперь возможность исследовать

поведение минерального вещества при давлениях и температурах, отвечающих максимальным глубинам мантии; изотопная геохимия, изучающая, в частности, баланс изотопов редких элементов и благородных газов в разных оболочках Земли и сравнивающая его с метеоритными данными; геомагнетизм, пытающийся раскрыть механизм и причины инверсий маг-

нитного поля Земли; геодезия, уточняющая фигуру геоида, и некоторые другие ветви наших знаний о Земле.

Уже первые результаты сейсмотомографических исследований показали, что современная кинематика литосферных плит вполне адекватно отражается лишь до глубин 300–400 км, а ниже картина перемещений мантийного вещества становится существенно иной. Это породило мнение о том, что теория тектоники литосферных плит не может претендовать на подлинно глобальное значение и ее пора заменить новой концепцией. Хотя такие высказывания во многом справедливы, следует тем не менее отметить два важных положения. Во-первых, теория тектоники литосферных плит продолжает удовлетворительно объяснять развитие земной коры континентов и океанов на протяжении по крайней мере последних 3 млрд лет. Во-вторых, для современной эпохи это подтвердили спутниковые измерения перемещения литосферных плит с помощью системы GPS (Global Positioning System). А в отношении позднего архея, отстоящего от нашего времени на 2.5–3.0 млрд лет, убедительные данные были недавно получены в Северной Карелии экспедицией Геологического института РАН, обнаружившей разрез древней океанской коры — офиолитов, включающих такую характерную компоненту, как комплекс параллельных даек. Аналогичное открытие только что сделано и в Северном Китае.

Успехи сейсмотомографии и других дисциплин в исследовании глубинной геодинамики не только существенно продвинули наши знания, но, как всегда бывает, породили новые и обострили существовавшие проблемы.

Таинственный Д-дубль-прим и строение нижней мантии

К середине прошлого века в геофизике утвердилась модель оболочечного строения твердой

Земли, предложенная австралийским ученым К.Булленом (модель Буллена—Джеффриса). В ней отдельные оболочки и ядро обозначены заглавными латинскими буквами: кора — А, верхняя мантия — В, переходный слой к нижней мантии — С, нижняя мантия — D (между 660—670 и 2900 км), внешнее ядро — Е, внутреннее — F. Довольно скоро, в 60—70-е годы, возникло подозрение, что в самых низах мантии существует слой с особыми свойствами: появились признаки нарушения монотонного возрастания скоростей сейсмических волн к границе ядра. Однако только в 80-е годы сейсмотомография получила достаточно убедительное подтверждение существования такого слоя, который получил обозначение D'', или Д-дубль-прим (поскольку вышележащая нижняя мантия обозначалась индексом D', т.е. Д-прим).

Слой D'' действительно оказался примечательным. Его верхняя граница с мантией неровная, и мощность меняется от 200 до 300 км. Эти значения в общем сопоставимы с мощностью переходного слоя от верхней к нижней мантии, залегающего на глубинах 410—660 км. Вязкость слоя D'', судя по сейсмическим скоростям, также заметно варьирует в широтном направлении, указывая не только на температурные, но и химические различия в составе вещества. И наконец, в подошве этого слоя выявлена зона ультранизких скоростей, что говорит о возможном частичном плавлении вещества.

С открытием слоя D'' у исследователей возникло вполне резонное предположение о его исключительно важной роли в глубинной и вообще глобальной геодинамике. Скорее всего именно в нем находят свой «могильник» погружающиеся пластины океанской литосферы, так называемые слэбы (slab — ломоть по-английски), а по соседству с ними зарождаются мощные восходящие струи разогретой и обогащенной легкими литофильными элементами мантии — мантийные плюмы (plume — перо, оперение по-английски).

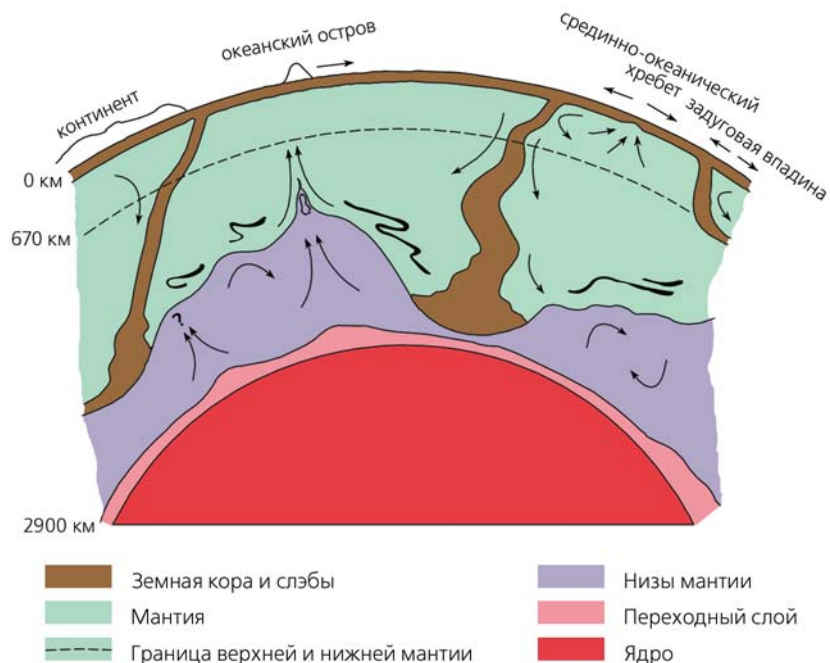


Схема возможной динамики переходного слоя в нижней мантии. Глубина кровли слоя изменяется от ~1600 км почти до границы мантия—ядро, куда она смещается под действием погружающихся слэбов. Стрелками показано движение вещества. Циркуляция в слое происходит из-за внутреннего разогрева (Kellogg L.H. et al., 1999).

Прошло не так много времени, как стали появляться высказывания и о неоднородности нижней мантии: слоя D' [1, 2]. Вскоре сейсмотомография подтвердила — на глубине около 1700 км свойства мантии испытывают определенные изменения, свидетельствующие о вариациях минерального и даже химического состава. Эти данные имеют большое принципиальное значение. Однако они пока не столь определены, чтобы уверенно проводить границу между верхней и нижней частями слоя D'.

И наконец, уже в самое последнее время стало высказываться мнение о существовании непосредственно за верхней границей нижней мантии слоя с более низкой вязкостью, который тоже может играть значительную роль в распределении мантийных течений.

Таким образом, в настоящее время вырисовывается следующая картина. В поперечном сечении земного шара существуют три наиболее активных слоя, каждый

мощностью в несколько сотен километров: астеносфера, верхний слой нижней мантии и слой D'' в основании мантии. По-видимому, им принадлежит ведущая роль в глобальной геодинамике [3].

Слэбы становятся зримыми

В споре, разгоревшемся в связи с появлением теории тектоники литосферных плит, ее противники довольно скоро вынуждены были признать реальность спрединга (по крайней мере в пределах современных срединно-океанических хребтов), но достаточно долго отрицали субдукцию. Они склонялись к гипотезе расширяющейся Земли в качестве альтернативы тектонике плит. Однако данные сейсмотомографии свидетельствуют о погружении глубоко в мантию наклонных зон повышенных сейсмических скоростей — пластин-слэбов океанской литосферы. Эти данные совпадают с давно установ-

ленными по гипоцентрам землетрясений сейсмофокальными поверхностями, достигающими кровли нижней мантии. Впервые было обнаружено, что в ряде случаев слэбы опускаются и на большие глубины, проникая в нижнюю мантию. Поведение погружающихся слэбов оказывается неоднозначным: одни из них, достигая нижней мантии, не пересекают ее, а отклоняются вдоль поверхности, принимая практически горизонтальное положение; другие — пересекают кровлю нижней мантии, но затем образуют раздвиг и не погружаются глубже; третьи же уходят на большие глубины, в некоторых районах достигая ядра. Последнее было впервые обнаружено в начале 90-х годов на тихоокеанской плите Фараллон и произвело сенсацию в научных кругах. В дальнейшем оказалось все же, что большинство слэбов пересекают кровлю нижней мантии, не проникая в нее глубже 1000–1300 км, и дальше как бы расплываются.

Интересный и важный результат сейсмографических исследований последних лет — обнаружение ископаемых зон субдукции, которые ранее, по геологическим данным, только предполагались. Такие зоны были выявлены под Монголо-Охотским подвижным и Охотско-Чукотским вулканоплутоническими поясами, под Тибетом. Здесь, как и в случае плиты Фараллон, речь идет о слэбах, погружавшихся в мезозое и кайнозое (начиная со 180 млн лет). Именно тогда плита Фараллон могла достигнуть поверхности ядра, уйдя глубоко под Северо-Американский континент (что, кстати, раньше, по геологическим данным, также предполагалось).

Другой, не менее важный, результат новейших сейсмографических исследований — открытие отрыва нижней части погружающегося слэба. Это явление также не было полной неожиданностью. Сейсмологи констатировали в отдельных регионах исчезновение на некоторой глубине очагов землетрясений, а затем их возникновение вновь еще глубже. Одним из таких мест было море Альборан.

И сейсмотомография действительно обнаружила там отрыв нижней части слэба, связанный с нарастанием растягивающих напряжений, возникновению которых способствуют дегидратация и дальнейшая метаморфизация (эклогитизация) базальтового и габбрового слоев. Подобный отрыв нижней части слэба представляет достаточно распространенное явление (как в недавнем, так и в более отдаленном геологическом прошлом) и имеет одно важное следствие: в зону отрыва снизу проникает материал астеносферы. Образуется астеносферное окно, дающее начало мантийному магматизму, который нередко следует за субдукционным и коллизионным. Причина возникновения мантийного магматизма ранее не находила удовлетворительного объяснения. Между тем с ним нередко связано значительное промышленное оруденение — например, платиноидное на Урале и золоторудное в Альпийском поясе Европы.

Говоря вообще о субдукции, нельзя не упомянуть еще об одной стороне, значение которой стало выясняться только недавно. В классической тектонике плит под субдукцией понималось погружение океанской коры и литосферы под островодужную или континентальную кору (в так называемых зонах Беньофа). Между тем сам этот термин был впервые предложен швейцарским геологом А.Амштутцем для погружения коры предгорного прогиба Альп под саму горную структуру. Впоследствии А.Балли предложил называть это субдукцией типа А, в отличие от классической субдукции типа Б (Беньофа). Но субдукция А не привлекала особого внимания, так как считалось, что ее масштабы весьма ограничены в связи с повышенной плавучестью континентальной коры. Однако сейсмопрофилирование методом отраженных волн, в частности, в Альпах и Карпатах показало, что континентальная кора платформ может уходить под смежные горы на расстояние более 100 км и погружаться на глубину более 150 км. А далее последовали совсем неожиданные открытия. В древних зонах

субдукции обнаружили породы первично континентального происхождения, содержащие минералы, образующиеся в условиях сверхвысоких давлений, — коэсит (высокобарическую модификацию кварца), алмазы и др. Последние могут говорить о погружении литосферы в зонах субдукции до переходной зоны от верхней к нижней мантии, а затем выходе на поверхность. Возникла и оживленно дискутируется проблема образования пород ультравысоких давлений и их эксгумации (как стали называть этот процесс). Подобные породы обнаружены на Урале и в Центральном Казахстане. Предложен ряд моделей эксгумации, в общей форме предусматривающих заклинивание зоны субдукции, выжимание и всплытие континентальной части погружающейся литосферной плиты с отрывом ее от океанского продолжения.

На еще большую глубину, оказывается, способна погружаться океанская кора. В обломке эклогита (глубинной метаморфической породы) из одной южноафриканской алмазоносной кимберлитовой трубки опять-таки найден коэсит. Это рассматривается как свидетельство происхождения эклогита из субдуцированной океанской коры и участия последней в формировании литосферы. Одновременно подтверждается и гипотеза о роли субдукции в образовании алмазоносных кимберлитов, впервые выдвинутая российским ученым О.Г.Сорохтиным. Другая любопытная находка — характерный для нижней мантии минерал магнезиовюстит, обнаруженный в алмазах. Предполагается, что он происходит из пограничной зоны верхней и нижней мантий.

Плюмы, плюмы, где ваши корни?

Гипотеза восходящих мантийных струй, выступающих на поверхность в «горячих точках», выдвинута в 1963 г. Дж.Вилсоном и обоснована в 1972 г. В.Морганом. С ее помощью объясняется внутри-

плитный магматизм, и в особенности образование линейных вулканических цепей, в которых возраст построек закономерно увеличивается по мере удаления от современных активных вулканов. Эта плюм-тектоника с каждым годом все более популярна [4]. Она становится если не альтернативной, то почти равноправным партнером плит-тектоники (тектоники литосферных плит). Доказывается, в частности, что глобальный масштаб выноса глубинного тепла через «горячие точки» превосходит тепловыделение в зонах спрединга срединно-океанских хребтов.

Классический пример современной «горячей точки» — о.Исландия, расположенный на пересечении оси спрединга Срединно-Атлантического хребта и зоны поперечных разломов. Действие плюма в Северной Атлантике началось на рубеже мела и палеогена, а в районе Исландии он сфокусировался в миоцене. Мощность коры океанского типа под этим островом достигает 40 км. Палеоаналоги Исландии — океанские плато, расположенные в Тихом и Индийском океанах: поднятия Шатского, Хесса, Онтонг-Джава, Кергелен и др. Область концентрации вулканических островов и подводных вулканов в центрально-западной части Тихого океана, выделенная в свое время Г.Менардом, — поднятие Дарвина — после работы американского геофизика Р.Ларсона рассматривается как проявление гигантского суперплюма, «работавшего» в середине раннего мела. Наши исследователи Л.Зоненшайн и М.Кузьмин обозначили этот регион в качестве «горячего пятна», а не отдельной точки, современную же проекцию суперплюма усматривают в юго-западной части океана, в Полинезии. Последнее подтверждается и данными сейсмографии. Второй подобный современный суперплюм, по тем же данным, существует под Восточной Африкой и смежной частью Индийского океана. Имеются серьезные основания предполагать, что корни суперплюмов достигают самых низов мантии.

Не подлежат сомнениям реальность существования, а следовательно и значительная роль плюмов в развитии литосферы и магматизма как внутриплитного, так и на дивергентных (расходящихся) границах плит (Исландия только один из примеров). Эта роль была, вероятно, особенно высока на ранних стадиях истории планеты. Вместе с тем возникает ряд проблем, пока не нашедших убедительного решения. К ним относятся: глубина заложения плюмов (иначе говоря, положение их корней в мантии); их локализация относительно границ литосферных плит и внутри последних; стационарность — абсолютная или относительная; длительность проявления. И главная проблема — соотношение конвекции, управляющей кинематикой литосферных плит, с адвекцией, вызывающей подъем плюмов. Они уже в принципе не могут быть независимыми процессами.

Прежде всего нужно заметить, что с выявлением положения корневых плюмов дело обстоит сложнее, чем с выявлением слэбов субдуцируемой литосферы, поскольку каналы, по которым поднимаются мантийные струи, более узкие. Примером возникающих трудностей может служить та же Исландия. Первоначально указывалось, что Исландский плюм имеет корни в нижней мантии, однако в недавней работе британских ученых категорически утверждается, что нет сейсмографических признаков его подъема из нижней мантии*.

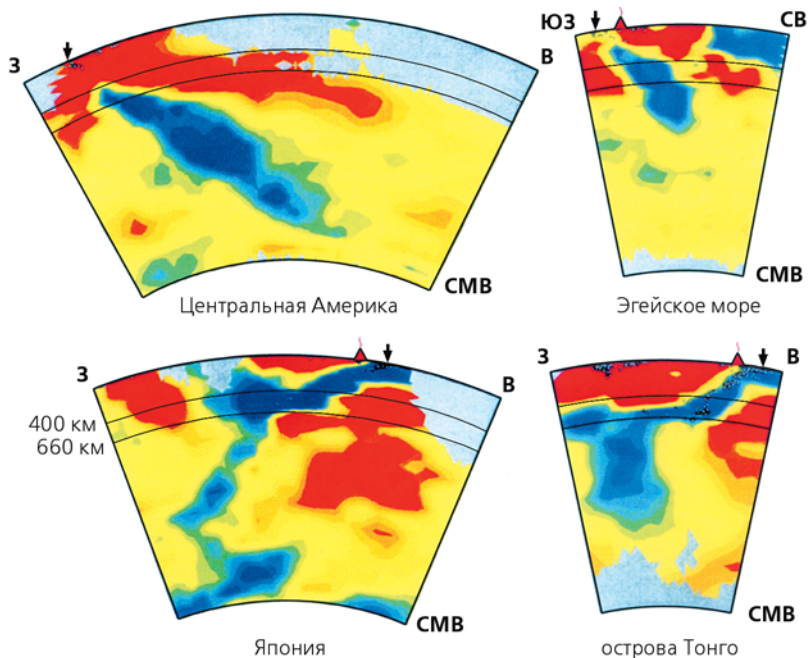
Представляется наиболее вероятным выделение двух уровней зарождения плюмов: в низах мантии, слое D'', и у границы верхней и нижней мантии. Первый — источник суперплюмов, второй — более второстепенных. Сначала допускали, что второй уровень располагается над границей 660 км, теперь высказывается мнение, что он может находиться под ней.

* Недавно известный американский геофизик Д.Андерсон вообще высказал сомнение в реальности существования плюмов, полагая, что на сегодняшний день сейсмических данных для их выделения недостаточно.

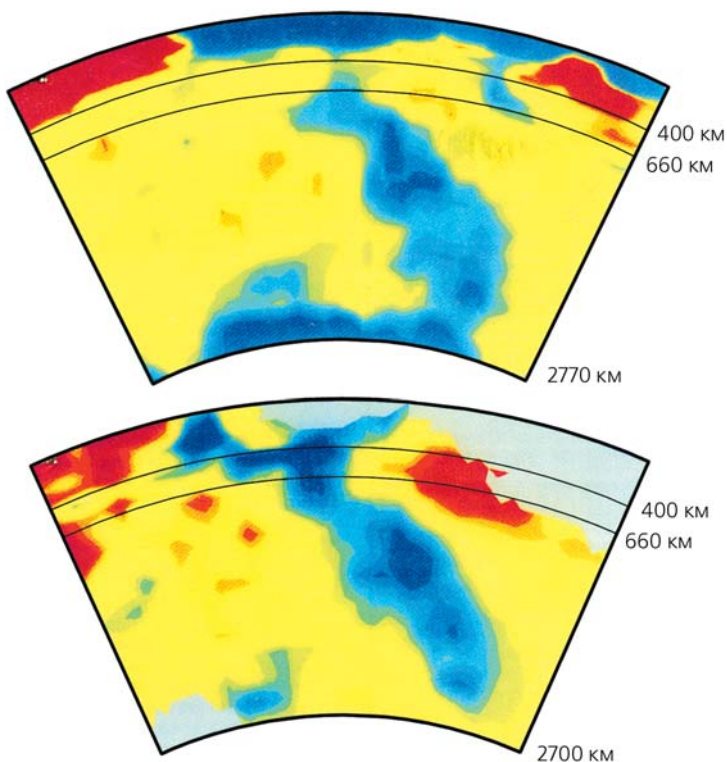
С только что рассмотренной проблемой связана еще одна: все ли фиксируемые на поверхности горячие точки — производные самостоятельных плюмов? На примере Восточной Африки сделано совершенно справедливое допущение, что крупные плюмы, достигая подошвы литосферы, могут расщепляться с накоплением расплава под участками утоненной рифтингом литосферы или даже непосредственно внедряться в рифтовые зоны. Такое расщепление может, очевидно, происходить на границе верхней и нижней мантии, которая должна служить полупроницаемым барьером не только для субдуцируемых слэбов, но и для поднимающихся горячих струй.

Что касается закономерностей локализации плюмов, то их расположение во многих случаях совершенно очевидно: одни, подобно Исландии, находятся на пересечении оси спрединга с крупными разломами. Например, Азорский плюм в Атлантике, вулканические острова Сен-Поль и Амстердам на Юго-Восточном Индо-океанском хребте и др. Поднятие Шатского и ряд аналогичных океанских плато возникли на древнем тройном сочленении осей спрединга. Другие плюмы приурочены к внутриплитным, внутриконтинентальным рифтовым системам, тяготея опять-таки к их тройным сочленениям (например, район Афара в Восточной Африке) или пересечению крупными зонами разломов. Отсюда очевидно, что размещение «горячих точек» на поверхности контролируется ослабленными, проницаемыми зонами в коре и литосфере. Но корни этих плюмов ниже литосферы могут иметь и иное положение.

Очень важен вопрос о стационарности плюмов. Краеугольным камнем гипотезы Вилсона—Моргана было представление о фиксированном положении корней плюмов в подлитосферной мантии и о том, что образование вулканических цепей, с закономерным увеличением возраста построек по мере удаления от совре-



Профиль через различные зоны субдукции, показывающий вариации скоростей поперечных сейсмических волн (Hilst R.D. et al., 1997). Стрелками показаны глубоководные желоба. СМВ — граница между мантией и ядром. По изменениям скоростей можно судить о поведении погружающихся слэбов.



Изменение скоростей продольных (вверху) и поперечных мантийных волн вдоль профиля через южную часть США (Hilst R.D., Widiyantoro S., 1977). Широкая голубая пластина аномалии, пересекающая всю нижнюю мантию, вероятно, отвечает плите Фараллон, которая погружалась в течение последних 100 млн лет.

менных центров извержений, обязано «прошиванию» движущихся над ними литосферных плит горячими мантийными струями. Это положение было использовано для определения абсолютных векторов относительного перемещения плит. Позднее стало допускаться отклонение верхушки плюма в направлении течения астеносферы.

Однако совершенно бесспорных примеров вулканических цепей гавайского типа не так уж много. Например, нет четкого увеличения возраста в весьма протяженной цепи о-вов Лайн в Тихом океане. Эти трудности обусловили возникновение альтернативных гипотез образования линейных вулканических цепей. Основная их идея заключается в том, что подобные структуры приурочены к зонам разломов, а их закономерное «старение» (далеко не везде проявленное) может объясняться течением астеносферы, зависящим от вращения Земли. К этим представлениям мы еще вернемся ниже.

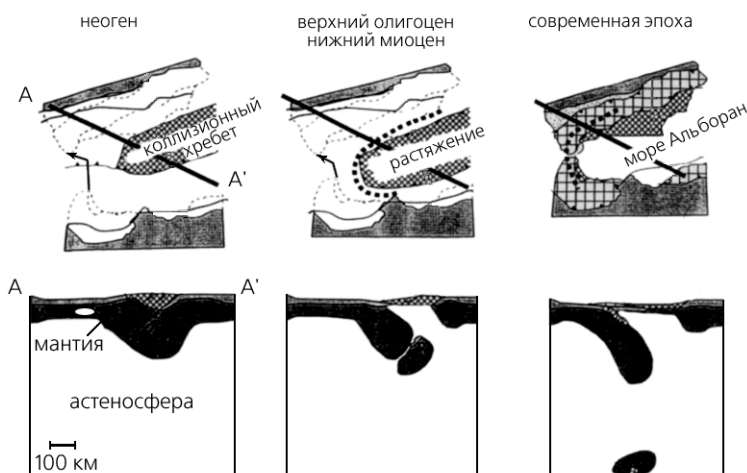
Таким образом, в проблеме плюмов остается еще много неясного. А как они вписываются в общую картину мантийной конвекции?

С плюмами, расположенными на осях спрединга, все более или менее ясно: они отвечают участкам более интенсивного восходящего конвективного теплопереноса, причем глубинные плюмы подпитывают верхнемантийную конвекцию. На основных плюмогенерирующих уровнях погружение субдуцируемых слэбов провоцирует подъем соседних плюмов, которые используют поступающий из слэбов материал. Такой сценарий в частности предполагается для слоя D". По идее А.Никишина, возникновение суперконтинента, опоясанного зонами субдукции, вызывает формирование под ним суперплюма. Последний в конечном счете стимулирует рифтинг и распад суперконтинента с образованием многочисленных «горячих точек». Этот процесс наглядно иллюстрирует пример отдельных разновозрастных сег-

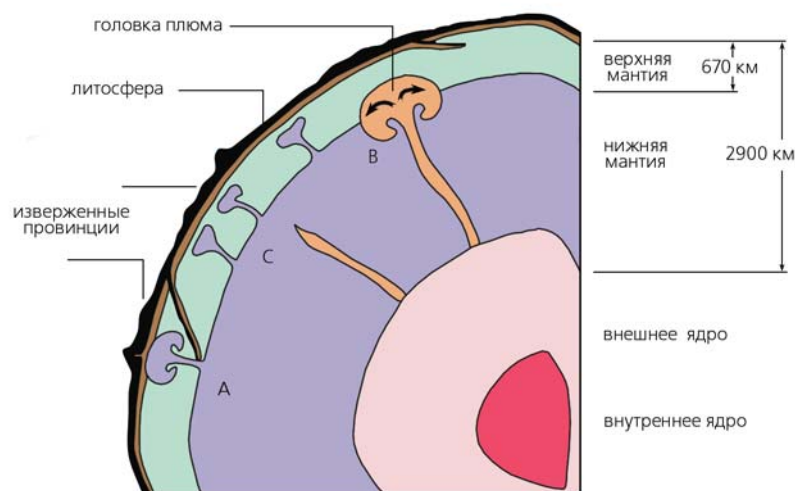
ментов Атлантики, в пределах которых континентальный рифтинг с роем даек и плато-базальтовыми полями закономерно предшествовал началу спрединга и образованию океана. В Центральной Атлантике это происходило в конце триаса—начале юры, в Южной Атлантике — в конце юры—начале мела, в Северной Атлантике — в самом конце мела и палеоцене.

Конвекция — тепловая или термохимическая, общемантийная или двухъярусная?

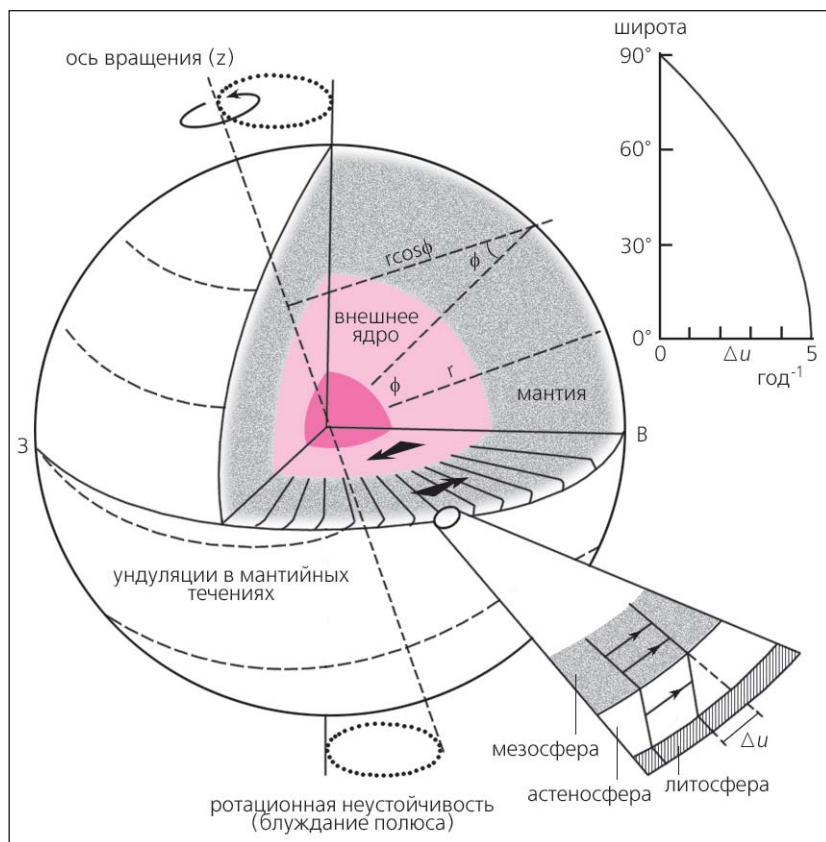
В теории тектоники литосферных плит в качестве движущего механизма была привлечена мантийная конвекция. Однако прямых доказательств ее реального проявления не было до тех пор, пока сейсмическая томография не обнаружила в мантии чередование разогретых и охлажденных участков, устойчивое сохранение которых без конвекции невозможно. Но сама природа конвекции понималась и все еще понимается неодинаково: одни считают ее чисто тепловой (как в ранних версиях тектоники плит), другие (также достаточно давно) отстаивают ее термохимическую природу [5]. Тепловая составляющая несомненно играет если не исключительную, то ведущую роль, и это подтверждается успешным компьютерным моделированием кинематики плит [6]. Но уже простые соображения показывают, что определенное значение имеет химическая компонента. Ведь по химическому составу и погружающиеся слэбы океанской литосферы, и поднимающиеся мантийные струи плюмов отличаются от окружающей мантии. А данные сейсмотомографии указывают на такие различия и в физических свойствах мантийного вещества, которые только температурными условиями объяснить нельзя. Поэтому и некоторые зарубежные исследователи склоняются к представлению о термохимической конвекции, наиболее последовательно в на-



Схемы отрыва нижней части погружающегося слэба Африканской литосферной плиты под морем Альборан (Blanco M.J., Spukman W., 1993). Отрыв связан с нарастанием в нижней части слэба растягивающих напряжений, возникновению которых способствует дегидратация и дальнейшая метаморфизация базальтового и габбрового слоев.



Модели мантийных плюмов (Arndt N., 2000). Плюмы ответственны за бурные вулканические процессы на поверхности Земли, которые формируют обширные изверженные провинции. Плюм А, поднимающийся от границы нижняя—верхняя мантия образует головку после достижения литосферы. Широкая головка плюма В, поднимающегося с границы мантия—ядро, более холодная. Находка Р.Томпсоном и С.Гибсоном примитивных оливинов в вулканических породах, видимо, подтверждает первую модель, согласно которой головка плюма горячее ее хвоста. Модель С показывает, что плюм задерживается на границе нижней и верхней мантии и дает начало меньшим «плюмкам».



Модель вращения оболочек Земли вокруг центральной оси. Передача напряжений через астеносферу (с пониженной вязкостью) в сочетании с действием на подошве плит порождает отставание литосферных плит относительно мезосферы (зоны между астеносферой и нижней мантией) в западном направлении. Это отставание обуславливает дифференциальное вращение мантии и литосферы (Δu), которое может рассматриваться как течение мантии в восточном направлении. Значение Δu достигает $5 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$, уменьшаясь как $\cos\phi$ к полюсам. Волновые изгибы мантийного течения возникают вследствие смещения оси вращения (блуждания полюсов) в ответ на смещение масс на поверхности Земли (по К.Доглиони из работы [9]).

стоящее время развиваемому у нас Л.Лобковским в Институте океанологии РАН [7].

Еще большие разногласия существуют по вопросу о мантийной конвекции — общая она или проявляется раздельно в верхней и нижней мантии (выше или ниже 660 км). Здесь наиболее объективный показатель — поведение субдуцируемых слэбов. А они, как отмечалось выше, ведут себя по-разному: одни задерживаются выше указанного раздела, другие его пересекают и образуют под ним скопление субдуцируемого материала (вероятно, для того чтобы потом обрушиться подобно лави-

не ниже), третьи достигают низов мантии. Все это свидетельствует о том, что раздел 660 км играет роль полупроницаемого барьера для конвективных течений. Таким образом, возможны и общемантийная, и двухъярусная конвекция. Отсюда и успешное моделирование той и другой, в частности, двухъярусной — Н.Добрецовым и А.Кирдяшкиным в Новосибирске [8]. Дело в том, что вероятность той или иной формы конвекции зависит в основном от вязкости мантии, а последняя — от температуры. В раннем докембрии, особенно в архее, мантия была горячее современной. В то время могла

преобладать двухъярусная конвекция, а с охлаждением Земли она должна была смениться общемантийной, господство которой мы в настоящее время, видимо, и наблюдаем. Однако скорее всего процесс носил более сложный характер. Образование суперконтинентов стимулировало переход к общемантийной конвекции, а их распад — к двухъярусной. Так они чередовались во времени, не залоная, однако, полностью общей тенденции.

Исторически сложилось, что в этом споре геофизики (в своем большинстве) оказались сторонниками общемантийной конвекции, а геохимики — двухъярусной. Позиция геохимиков объясняется тем, что состав продуктов магматизма, в особенности океанских островов, требует существования в глубинах мантии резервуара, отвечающего примитивной мантии, сохранившей свой состав со времени аккреции планеты. Первоначально допускалось, что вся нижняя мантия может быть таким резервуаром, но это предположение не выдержало томографической проверки. Однако ныне геофизики предположили, что такой «заповедник» — самая нижняя часть мантии, ниже 1300 и даже 1700 км. Дальнейшие исследования должны подтвердить или опровергнуть это предположение.

А все-таки она вертится!

В классической мобилистской гипотезе А.Вегенера в качестве движущей силы дрейфа материков рассматривалось осевое вращение Земли, а дефицит этой силы был одной из причин отторжения данной гипотезы геофизиками. В классической же тектонике плит фактор вращения Земли вообще не принимался в расчет. В дальнейшем на его возможную роль, пусть и второстепенную, стали обращать внимание, а в последние годы появился ряд серьезных работ, рассматривающих его влияние на кинематику плит. Одним из основных аргументов служит заметная

диссимметрия окраин Тихого океана: на западе развита система окраинных морей и островных дуг, которые подстилаются крутонаклонными зонами субдукции, на востоке окраинные моря и островные дуги отсутствуют, а зоны субдукции преимущественно полого наклонены. Сторонники влияния ротационного фактора (сил Кориолиса) объясняют это тем, что течение в астеносфере с запада на восток, вызываемое вращением Земли, в первом случае ориентировано навстречу субдукции, а во втором — в том же направлении. Следует, однако, заметить, во-первых, что подобная картина строения окраин Тихого океана сложилась лишь примерно 35 млн лет назад, а до этого она была противоположной. Во-вторых, американские континенты надвигаются на Тихоокеанскую впадину в связи с раскрытием Атлантики и отходят от оси спрединга Срединно-Атлантического хребта. Тем не менее независимые наблюдения у берегов Центральной и Южной Америки подтверждают существование здесь направленного к востоку течения в астеносфере.

Наиболее разработанная модель кинематики литосферных плит с учетом ротационного фактора предложена А.Смитом и Ч.Льюисом [9]. Ее суть представлена на схеме. Надо добавить, что ротационный фактор привлечен этими исследователями и для объяснения образования линейных вулканических це-

пей в Тихом океане. В общем представляется, что в подлинно глобальной и полной геодинамической модели учет ротационного фактора обязателен.

Космический фактор в геодинамике

Специалисты в области наук о твердой Земле, в отличие от метеорологов и гидрологов, далеко не всегда осознают, что наша планета представляет открытую систему, существующую не в абстрактном, а в конкретном космическом пространстве и взаимодействующую с ним. Пожалуй, признается лишь импактный эффект от столкновения с астероидами и кометами. Между тем виды взаимодействия Земля—Космос достаточно разнообразны и, вероятно, немаловажны. Один из них — взаимодействие в системе Земля—Луна. Эта система фактически представляет двойную планету, барицентр которой лежит вне Земли, а уменьшение амплитуды вызываемых притяжением Луны твердых приливов и замедление вращения Земли несут, вероятно, не монотонный колебательный характер, а могут находиться в резонансе с тектонической цикличностью [10]. Р.Бостром считает, что проявление на Земле субдукции, и вообще тектоники плит, практически не известной на других планетах земной группы, было обусловлено именно взаимодействием Земли и Луны [11].

Достаточно давно было обращено внимание на совпадение длительности крупномасштабных тектонических циклов, установленных еще в самом конце XIX в. французским геологом М.Бертраном, со временем обращения Земли и всей Солнечной системы по галактической орбите. На этом пути Земля пересекает струйные потоки газопылевого галактического вещества, которое может оказывать определенное воздействие на происходящие в ее недрах процессы. Иными словами, речь идет об определенном резонансе между космическими и глубинными геодинамическими процессами. И эта проблема заслуживает самого пристального внимания. Совсем недавно французские исследователи М.Греф-Лэфтц и И.Легро [12] показали, что осцилляции в жидком ядре и лунно-солнечные приливы могли оказываться в резонансе $3.0 \cdot 10^9$, $1.8 \cdot 10^9$ и $3 \cdot 10^8$ лет назад и вызвать дополнительный разогрев ядра, дестабилизацию слоя D" и генерацию глубинных плюмов, что привело к усилению образования континентальной коры, плато-базальтовому вулканизму и резкому изменению частоты инверсий геомагнитного поля.

Итак, несмотря на очевидный прогресс наших знаний о процессах в недрах Земли, многие вопросы еще далеки от однозначного решения и представляют заманчивую область для дальнейших исследований. ■

Литература

1. Пуцаровский Ю.М., Пуцаровский Д.Ю. // Геотектоника. 1999. №1. С.3—14.
2. Пуцаровский Ю.М. Глубины Земли: строение и тектоника мантии // Природа. 2001. №3. С.13—15.
3. Kido M., Yuen D.A. // Earth a.Planet. Sci. Lett. 2000. V.181. P.573—583.
4. Геология на пороге новой научной революции // Природа. 1995. №1. С.33—51.
5. Tackley P.J. // Science. 2000. V.288. P.2002—2007.
6. Трубицын В.П. Глобальные тектонические процессы, формирующие лик Земли // Геофизика на рубеже веков. М., 1999. С.80—92.
7. Лобковский Л.И., Котелкин В.Д. Двухъярусная термохимическая модель конвекции и ее геодинамические следствия // Пробл. глобалн. геодинамики. М., 2000. С.29—53.
8. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Глубинная геодинамика. Новосибирск, 1994.
9. Smith A.D., Lewis Ch. // J. Geodyn. 1999. V.28. P.96—116.
10. Авсюк Ю.Н. Глобальные изменения среды и климата в сопоставлении с приливной моделью эволюции системы Земля—Луна // Геофизика на рубеже веков. М., 1999. С.93—106.
11. Bostrom R.C. Tectonic Consequences of the Earth's rotation. Oxford, 2000.
12. Greff-Lefftz M., Legros H. // Science. 1999. V.286. P.1707—1709.

Три ущелья в бассейне Янцзы

Г.Ф.Уфимцев,

доктор геолого-минералогических наук
Институт земной коры СО РАН
Иркутск

Бассейны и гидродинамика трех великих рек Восточной Азии — Амура, Хуанхэ и Янцзы — обладают сходными чертами строения, ибо это реки с муссонным режимом, летними паводками и обвалованными берегами. И потому их русла часто располагаются выше окружающих равнин. У Амура береговые валы сохранились в естественном виде, а на Хуанхэ и Янцзы они на протяжении многих веков искусственно наращивались в борьбе с катастрофическими наводнениями. Так и получается: стеснение потока дамбами приводит к осаждению влекомых и взвешенных наносов в русле, что в свою очередь поднимает уровень реки и требует надстройки береговых дамб.

Все три реки в своих средних течениях образуют гигантские излучины: Амур огибает с севера хребет Большой Хинган, Хуанхэ — плато Ордос, а Янцзы после спуска с Тибетского нагорья образует сложную обращенную на юг дугу. Вторая характерная черта бассейнов этих рек — наличие вдоль русел в нижних течениях многочисленных озер. Последние представляют собой подпруженные устьевые участки притоков.

Я видел все три реки: сначала Амур, от его истоков до устья,

затем Хуанхэ на нижнем окончании излучины и Янцзы на Великой Китайской равнине, у г.Ухань.

Прежде всего следует сказать об удивительном морфологическом сходстве бассейнов Янцзы и Амура, в землеведении они описываются как географические гомологи. Начало свое реки берут в нагорьях: Янцзы — в Тибетском, Амур (если принять за его истоки Ингоду или Онон) — в Хэнтэй-Даурском. Затем они образуют излучины и вступают в пределы крупных междугорий с приподнятыми днищами, занятыми плато или холмистыми равнинами, — это Сычуанская (для Янцзы) и Зей-Буреинская (для Амура) впадины. Дальше реки пересекают узкими антецедентными долинами (долинами прорыва) горные сооружения — Три Ущелья Янцзы и Помпеевское сужение Амура в горах Малого Хингана — и выходят на равнины. Здесь русла рек сопровождаются крупными озерами. В практически ненарушенном гидростроительными сооружениями Амуре такие озера играют роль регуляторов стока и поглощают взвешенный материал.

Самое примечательное в бассейнах Янцзы и Амура — ущелья перед выходами рек на равнины в нижних течениях. В бассейне Янцзы, между Сычуанской впадиной и Великой Китайской

равниной (точнее, между городами Фынцзе и Ичаном), располагаются замечательные памятники природы: Три Ущелья Янцзы, Три Малых Ущелья ее притока Танин и Три Маленьких Ущелья левого притока самой Танин. Два первых ущелья мне довелось увидеть прошлым летом, когда вместе с китайскими коллегами совершал экскурсию по Янцзы, где она пересекает высокие (до 2500 м) горы Дабашаня.

Вечером наш теплоход для китайских туристов* отходил от пристани уездного города Ичан (около 700 тыс. населения) и направлялся вверх по реке мимо череды пассажирских теплоходов. Некоторые из них украшены головами дракона. Такие суда предназначены для иностранных туристов. Цвет воды, вытекающей из-под винта, быстро убеждает в том, что название Янцзы — Голубая река, — данное европейцами, менее всего соответствует действительности, а на самом деле это Цанцзыан — Длинная река, — как называют ее китайцы.

Рано утром пароход подошел к пристани небольшого, по китайским понятиям, селения (около 50 тыс.), отправному ме-

* Профессора Ян и Ван имели официальные справки, временно зачисляющие нас, российских ученых, в состав китайских подданных с правом приобретения льготных билетов.



Ворота Дракона открывают вход в Три Малых Ущелья р.Танин.

Здесь и далее фото автора



У причала г.Ичан стоят теплоходы для иностранных и китайских туристов.



Три Малых Ущелья на р.Танин. Сочетание вертикальных стенок и крутых склонов.

сту для путешествия по Трем Малым Ущельям р.Танин. Дальше идут только мелкосидящие катера, что-то вроде моторных шаланд вместимостью не более 35 пассажиров.

Устьева часть долины относительно широка и довольно густо населена. Но вот она быстро сужается, и перед нами Ворота Дракона, через которые перекинут ажурный мост в сказочный мир. Река шириной 50—60 м стиснута вертикальными

скальными стенками высотой несколько сотен метров, за ними возвышаются крутые залесенные склоны, затем вновь вертикальные стенки. На скалах местами появляются узкие платформенные ступени, заросшие кустарником и составляющие гирлянды.

Борта долины по всей высоте (1000—1300 м) сложены мощной толщей известняков, и мы постоянно видим следы действия карстовых процессов: выхо-

ды пещер, бьющие из воронок источники, а иногда и целые подземные реки, изливающиеся из карстовых полостей. На стенках наблюдаются вертикальные овалыные желоба, по которым стекают дождевые воды, растворяющие известняки.

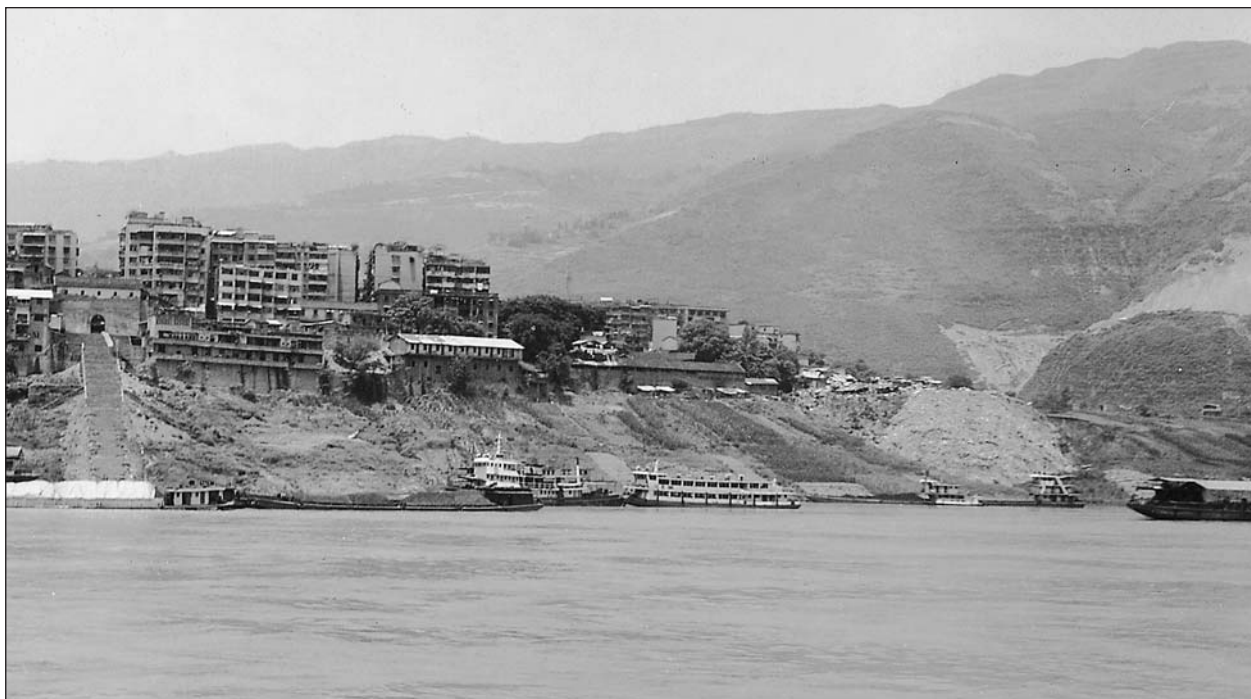
Чередование светло-серых (или желтовато-серых) и темных вертикальных стенок и залесенных склонов придает бортам долины особенный колорит. И лишь крутые склоны самого верхнего ущелья — Изумрудного — полностью покрыты густым лесом. Здесь обитает колония макак, снующих в кустах вблизи берега и вызывающих бурное оживление среди туристов.

Еще одна достопримечательность Трех Малых Ущелий — остатки древних вырубленных дорог и троп. Это прямоугольные ниши в скале или квадратные отверстия для балок, на которые накладывался настил (наподобие памирских оврингов). Наряду с транспортным такие дороги имели ритуальное значение — вели к последней обители, где тела подвешивались под скальные карнизы.

Ущелья в долине Танин чередуются с относительно широкими участками, на которых появляются невысокие террасы и пригодные для земледелия пологие склоны. Но именно в пределах расширений долины река образует быстрыны и перекаты высотой до 1.5—2.0 м на протяжении 100—200 м.

На берегах Изумрудного ущелья наше путешествие заканчивается. Где-то недалеко начинаются Три Маленьких Ущелья левого притока Танин, но пройти по ним можно либо в связке, либо сплавом, что требует и времени, и денег. Мы же возвращаемся в долину Янцзы, где нам предстоит знакомство с ее Тремя Ущельями.

На сей раз мы причаливаем к городку Фынцзе на левом берегу Янцзы. Входная башня и первые его строения высоко стоят над берегом. В летнее время вода поднимается более чем



Городок Фынцзе на левом берегу Янцзы. Расположение домов говорит о высоте подъема воды во время паводков.

на 30 м. В нижней части городка весь склон занят свалкой, расположенной с явным расчетом на то, что при высоком паводке ее смоеет. На противоположном борту долины выложены крупные белые цифры 135 и 175. Это уровни начального и окончательного заполнения гидроузла, строящегося в Трех Ущельях. Старая часть городка и близлежащие поселения будут затоплены уже в 2003 г., и, как нам сказали, «управление этими территориями закончено». Подъем по лестнице от причала к городским воротам полностью подтверждает справедливость этих слов... Лестница мало чем отличается от городской свалки, равно как и старые городские кварталы.

На следующий день отправляемся вниз по Янцзы. Верхнее ущелье — Силинся — очень эффективно: высокие вертикальные стенки опираются на пологие откосы паводковой полосы, а над ними господствует «клык» горы Куймен. Русло Длинной

реки стиснуто скалами, ширина его не превышает 150—200 м. На стенках много крупных ниш с нависающими потолками — следов обрушений крупных блоков. Однако глыбовых развалов не видно. Вертикальные скалы уходят под воду, а река размывает обрушенные массы. Течение ее быстрое, с водоворотами.

Меня как геоморфолога в Трех Ущельях привлекла одна деталь — 7-метровая светлая, начисто лишенная растительности полоса в основании склонов. Она фиксирует высоту обычных паводков, когда насыщенный взвешенным и влекомым материалом поток буквально зачищает береговые скалы и откосы, уничтожая на них весь растительный покров. Эта зона прослеживается практически непрерывно в Трех Ущельях по всей долине Янцзы. Наряду с вертикальными стенками в паводковой полосе наблюдаются уникальные формы рельефа: субгоризонтальные скальные

поверхности, пойменные террасы высотой до 4 м, часто в виде небольших скальных островков. Они образованы не размывом, а абразивным действием насыщенного твердыми частицами потока и морфологически родственны бенчам — абразионным платформам морских берегов, которые тоже периодически осушаются. Другой вид береговых форм представляют собой скальные покатые откосы — эрозионные педименты и пьедесталы — весьма редко встречающиеся морфологические и генетические аналоги склоновых педиментов и пьедесталов.

А теперь об экологических проблемах Янцзы. По Длинной реке плывет масса бытового мусора, образующего причудливые кружева на водоворотах, колыхающиеся торосы в заводах. Основу речного мусора составляют куски белого упаковочного пластика. Где-то выше по течению (в Чунцине?) на берегу работает производство, старательно дробящее пластик



Изумрудное ущелье. Здесь обитает колония макак.

и сбрасывающее его в реку. Скоро этот мусор будет накапливаться в создаваемом водохранилище. Китайские коллеги объяснили, что сейчас власти проводят большую разъясни-

тельную работу, в том числе ежедневно по телевидению. Но воз и ныне там...

А теперь о будущем Трех Ущелий. В широкой части долины, там, где массив гранитов

рассекает известняки, возводится гигантская плотина*. И уже в 2003 г. пройдет первая фаза заполнения водохранилища. Китайцы говорят: «Бог сделал большой подарок Китаю, поместив сюда граниты». Только на гранитах здесь и можно возвести плотину. Но при виде строительства и при мысли, что все Три Ущелья будут вскоре затоплены, в душе возникает горечь и разочарование. Действительность же слишком сурова. Сотни миллионов человек на Великой Китайской равнине живут под постоянной угрозой катастрофических наводнений. От жесткого регулирования стока великих рек Китая никуда не уйдешь, хотя это будет сопровождаться большими экологическими проблемами. Во-первых, произойдет быстрое заиление верхней части нового водохранилища из-за насыщенности водотока взвешенным материалом. Во-вторых, весь мусор, плывущий по Янцзы, будет накапливаться в водохранилище, и от этого не спасут ни пропаганда, ни административные меры.

В моей же памяти навсегда сохранится образ Длинной реки Китая и созданное ею чудо — Три Ущелья. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-05-65638.

* О строительстве гидротехнического комплекса на Янцзы см.: Митина М.М. Три Ущелья — крупнейший гидротехнический проект мира // Природа. 1999. №1. С.51—52.

Лауреаты Нобелевской премии 2001 года

По физике — Э.Корнелл, В.Кеттерле, К.Вайман

Шведская Королевская академия наук присудила Нобелевскую премию 2001 г. по физике работающим в США ученым Э.Корнеллу, В.Кеттерле и К.Вайману «за экспериментальное обнаружение конденсации Бозе—Эйнштейна в разреженных газах щелочных металлов и фундаментальные исследования свойств конденсата».

Эрик Корнелл (Eric A.Cornell) родился в 1961 г. в Пало-Альто (штат Калифорния). В 1985 г. закончил Станфордский университет, в 1990-м защитил диссертацию по физике в Массачусеттском технологическом институте, Кембридж. С 1992 г. — старший научный сотрудник Национального института стандартов, с 1995-го — профессор физического факультета Университета штата Колорадо, Боулдер.

Вольфганг Кеттерле (Wolfgang Ketterle) родился в 1957 г. в Гейдельберге. Высшее образование по физике получил в Техническом университете, Мюнхен (1982), докторскую степень — в Университете им.Людвига Максимилиана, Мюнхен, и в Институте квантовой оптики им.Макса Планка (1986). С 1990 г. работает в Массачусеттском технологическом институте (в 1997 г. стал про-

фессором), оставаясь гражданином Германии.

Карл Вайман (Carl E.Wieman) родился в 1951 г. в Корваллисе (штат Орегон). Ученая степень по физике присуждена в 1977 г. в Станфордском университете. С 1987 г. — профессор физики Университета штата Колорадо.

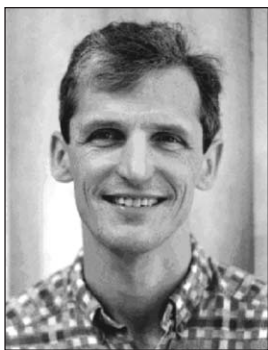
С тех пор как Альберт Эйнштейн 75 лет назад предсказал новое интересное явление, история его изучения была очень непростой. В 1924 г. Эйнштейн сделал первый весьма неординарный шаг: перенес статистику, предложенную индийским физиком Шатъендранатом Бозе для фотонов, на материальные частицы. В следующем году, анализируя поведение системы таких частиц, Эйнштейн обнаружил, что в ней возможно явление, которое сейчас получило название конденсации Бозе—Эйнштейна. Оно сводится к следующему: при очень низкой, но конечной температуре макроскопическое число атомов или молекул заполняет один энергетический уровень, соответствующий нулевому импульсу, причем число частиц на этом уровне оказывается сравнимым с полным числом частиц в системе. Термин «конденсация» происходит из некоторой аналогии с процессом конденсации газа в жидкость, хотя эти явления различны — конденсация

Бозе—Эйнштейна происходит в пространстве импульсов, а распределение частиц в обычном, координатном, пространстве не меняется.

Утверждение Эйнштейна нетривиально по двум причинам. Во-первых, рассматривается газ невзаимодействующих частиц. Во-вторых, речь идет о конечной температуре, и в этом случае естественно думать, что все частицы «размазаны» по разным энергетическим состояниям. Не случайно после опубликования данной работы очень крупные физики-теоретики высказывали сомнения в ее достоверности. Достаточно вспомнить Дж.Уленбека, который считал этот результат артефактом, или П.Эренфеста, близкого друга Эйнштейна, который писал в своем письме последнему, что предсказанное им явление неявно предполагает наличие взаимодействия между частицами. В ответном письме Эйнштейн признавал, что это, по-видимому, так, и он затрудняется это интерпретировать, но не сомневается: конденсация — прямой результат статистических свойств газа независимых частиц. Чтобы понять, почему возникли такие сомнения, надо упомянуть ряд обстоятельств. К тому моменту еще не существовало двух статистик, которые мы теперь знаем под именами



Э. Корнелл.



В. Кеттерле.



К. Вайман.

Бозе—Эйнштейна и Ферми—Дирака, т.е. не было раздельного описания для частиц с целочисленным спином (первая статистика) и полуцелым спином (вторая). Не было и осознания решающего факта, что в квантовой механике волновая функция, соответствующая двум или более идентичным частицам, при перестановке их местами не должна меняться (статистика Бозе—Эйнштейна) или, наоборот, должна менять знак (статистика Ферми—Дирака). Именно эта обязательная симметризация — исключительно нетривиальное обстоятельство — фактически вводит некое виртуальное взаимодействие между частицами в случае, когда непосредственного, силового взаимодействия между ними нет. Бозе—эйнштейновская конденсация часто называется просто бозе-конденсацией, хотя в работе Бозе о конденсации нет ни единого слова (он рассматривал газ равновесных фотонов, где это явление отсутствует).

В 1938 г. Ф. Лондон выдвинул смелую гипотезу, согласно которой сверхтекучесть обязана своим существованием конденсации Бозе—Эйнштейна. У этого утверждения также любопытная история. Л. Д. Ландау, приступив к построению теории сверхтекучести, сразу показал, что в газе невзаимодействующих бозонов критическая скорость равнялась бы нулю и поэтому сверхтекучесть наблю-

дать было бы невозможно. Теория, созданная им еще до войны, не использовала явно представления о бозе—эйнштейновской конденсации и казалась вполне завершенной. Однако уже после войны Р. Фейнман обратил внимание на то, что теория Ландау неявно предполагает симметризацию волновой функции ансамбля частиц, подчиняющихся статистике Бозе—Эйнштейна, и тем самым конденсацию. Только в этом случае критерий Ландау для сверхтекучести не вызывает сомнения. В результате общая картина явления предстала законченной, и физическая идея о бозе-конденсации стала широко использоваться в самых разных областях физики. Помимо сверхтекучести жидкого гелия, на ее основе стали объяснять сверхпроводимость, она начала применяться в ядерной физике, во многих разделах физики твердого тела и т.д.

Однако всегда имелись в виду следствия этого явления, а прямого экспериментального наблюдения непосредственно самой конденсации до 1995 г. не было. Это обстоятельство не случайно: чтобы ее наблюдать, необходимо иметь газ при фантастически низких температурах. В первых экспериментах температура была в 10 млрд раз ниже комнатной, а ведь даже при температуре около 1 К любые вещества становятся твердыми (единственное исключе-

ние — гелий, остающийся жидким). Рассчитывать, что при такой температуре может существовать газ, просто невероятно. Поэтому речь могла идти только о метастабильном состоянии, т.е. о том, чтобы искусственно приготовить газ, который «жил» бы достаточно для эксперимента время. Но тут же возникает и вторая проблема: этот газ не должен взаимодействовать со стенками сосуда, который его удерживает, поскольку при таких температурах любое взаимодействие со стенками разрушит метастабильное состояние.

Итак, необходимо иметь, с одной стороны, рекордно низкие температуры, а с другой — систему, в которой газ не имеет контакта со стенками. Последнее препятствие было преодолено таким образом: роль сосуда играло магнитное поле определенной конфигурации. В так называемой магнитной ловушке частицы с магнитным моментом при достаточно низкой температуре испытывают фактически только отражение от магнитной «стенки», т.е. никакого реального физического контакта нет, и газ существует в системе с абсолютно отражающими стенками. Получить же столь низкие температуры (это была фундаментальная проблема) удастся лишь в два этапа. На первом используется метод лазерного охлаждения. Если поток фотонов падает на взаимодействующие с ним атомы и рассеивается, то импульс фотонов передается последним. При этом частицы, двигающиеся навстречу фотонам, получают импульс в противоположном направлении, т.е. происходит их замедление. Заставить взаимодействовать с фотонами нужную группу атомов можно, подбирая соответствующим образом частоту лазера — так, чтобы она резонансно совпала с частотой поглощения фотона атомом, зависящей из-за эффекта Доплера от его движения. Четыре года назад работы по лазерному охлаждению получили Но-

белевскую премию (С.Чу, К.Коэн-Таннуджи, У.Д.Филлипс), и столь высокая оценка, по моему мнению, была обусловлена именно тем, что оно было использовано при охлаждении газов для достижения бозе-конденсации. Таким образом удается эффективно охладить до 10^{-4} – 10^{-5} К довольно большое число атомов, однако эти температуры все еще недостаточны для поставленной цели.

Чтобы до конца охладить систему, нужен второй этап, и им стало так называемое испарительное охлаждение. Если внутри какого-нибудь сосуда с барьерами находятся атомы, то наиболее горячие атомы или, как говорят, максвелловские хвосты распределения преодолевают барьер, а те, которые имеют более низкую энергию, через барьер выйти не могут. Поэтому со временем, за счет «обрезания» этих «хвостов», происходит понижение температуры в системе. Если уменьшить высоту барьера, через него уйдут и другие частицы, обладающие уже меньшей энергией. Так, постепенно понижая барьер, можно достичь исключительно низких температур, сохраняя при этом достаточно большое количество частиц в системе. Этот метод был развит еще до исследований лауреатов, но они усовершенствовали его, используя для «обрезания хвостов» парамагнитный резонанс. Поскольку в данном случае частицы удерживаются в магнитной ловушке, можно, подавая переменное поле, «приоткрывать» ловушку тем из них, для которых выполнено условие парамагнитного резонанса, вызывая их ускоренный уход. Снижая по мере отсева горячих атомов частоту электромагнитного поля, можно постепенно «срезать» слои теплых частиц. Сочетание лазерного охлаждения и ускоренного испарения позволило достичь температуры в 10^{-8} К, и к 1995 г. в двух лабораториях был получен газ, который, с одной стороны, имел такую низкую темпера-

туру, а с другой — достаточно большое количество частиц. В лаборатории JILA, объединенного исследовательского центра Национального института стандартов и Колорадского университета, охлаждение было выполнено для 2000 атомов рубидия, а в Массачусетском технологическом институте — для еще большего числа (порядка 10^5) атомов натрия.

Надо отметить, что еще за 15 лет до этого начались эксперименты с атомарным водородом, и к настоящему моменту удалось наблюдать бозе-конденсацию в этом газе, но уже позднее, чем в рубидии и натрия. Выбор водорода был не случаен, поскольку из всех элементов он обладает минимальной массой, а температура перехода в состояние с бозе-конденсатом обратно пропорциональна массе, т.е. при заданной плотности температура перехода для водорода максимальна. Достичь его бозе-конденсации рассчитывали, работая с атомарным газом в сильном магнитном поле. Известно, что, если два атома водорода имеют параллельные спины, т.е. находятся в триплетном состоянии, они не объединяются в молекулу. Молекула получается только при противоположно направленных спинах (образующих синглет). Поэтому идея казалась очень простой: наложить сильное магнитное поле (в экспериментах оно было порядка 100 тыс. эрстед) в сочетании с низкой температурой. При этом атомарный водород оказывается поляризованным практически на 100% и рекомбинация с образованием молекул должна быть подавлена. В этих условиях можно попытаться повысить плотность и достичь бозе-конденсации. Однако ожидания не оправдались. Проведенный в нашем теоретическом отделе детальный анализ выявил существование специфического канала трехчастичной рекомбинации даже при полной поляризации газа в «чистом» состоянии, когда спин протона парал-

лелен электронному спину (при этом отсутствует так называемое обменное взаимодействие). Поэтому продвинуться в сторону очень больших плотностей не удастся даже при сверхсильном магнитном поле. Данное предсказание получило экспериментальное подтверждение одновременно в нескольких лабораториях, что предопределило изменение программы исследований в направлении более низких плотностей и температур. В этих исследованиях впервые было использовано испарительное охлаждение. Таким образом, у исследований, связанных с атомами щелочных металлов, существует предыстория, хотя эксперименты, в которых были достигнуты такие фантастические температуры при полной изоляции газа, стали абсолютным прорывом.

Почему были выбраны именно натрий и рубидий? По двум причинам. Во-первых, они представляют собой простейшую систему: щелочные металлы, как и атомарный водород, имеют один электрон на внешней оболочке и, следовательно, имеют спин и магнитный момент (все удержание происходит в магнитных ловушках, которые «держат» незаряженные частицы за счет взаимодействия атома, обладающего магнитным моментом, с магнитным полем). Необходимое качество присутствует у всех трех упомянутых элементов. Во-вторых, щелочные элементы, уже в отличие от водорода, имеют подходящие частоты переходов, соответствующие сравнительно стандартным лазерам. Оказалось возможным получить мощные лазеры, необходимые для охлаждения и дальнейших манипуляций с газом в ловушке (все манипуляции происходят оптически: в объем газа ввести ничего материального нельзя, иначе среда сразу погибнет). В результате атомы щелочных металлов оказались наиболее удачными объектами для экспериментального достижения бозе-конденсации.

Магнитная ловушка здесь представляет собой некое внешнее по отношению к газу поле параболической формы (в общем случае — анизотропное, с параболическим законом изменения вдоль координат). В этом кроется некоторое отличие от модели, проанализированной Эйнштейном, где рассматривалась потенциальная яма прямоугольной формы («ящик»), для которой нижнему энергетическому уровню отвечает состояние с нулевым импульсом. Но если яма параболическая, самый нижний уровень находится около дна этой ямы, причем очень близко к нему (масса велика, и поэтому нулевые, или квантовые, колебания имеют очень малую энергию). Тогда возникает исключительно высокая плотность (концентрация) частиц: они накапливаются на уровне, который существует в пространственно ограниченной области. Таким образом, если есть явление бозе-конденсации, то происходят одновременно конденсация и на нижнем уровне в энергетическом пространстве, и в нормальном пространстве, вблизи дна магнитной ловушки. А значит, появляется возможность обнаружить процесс экспериментально, по контрасту плотности газа: газ, имеющий конечную температуру, обладает крайне низкой плотностью, а газ, который начал бозе-конденсироваться, создает сравнительно плотное ядро, и это можно заметить оптически. Если же ловушку «убрать», газ начнет разлетаться, причем атомы с конечной температурой — быстро, а те, которые находятся в бозе-конденсированном состоянии (температура их всегда равняется нулю), — только благодаря слабому взаимодействию между собой. Это самый лучший способ обнаружить, что есть две совершенно разные группы атомов. Фактически такими и были первые эксперименты, доказывающие реализацию бозе-конденсации.

Мне довелось присутствовать на конференции, на которой еще до публикации докладывались результаты с рубидием (группа в JILA опередила на несколько месяцев группу Массачусетского технологического института). Поскольку это было уже не виртуальное, а реальное утверждение, результаты выглядели столь сенсационно, что вся конференция прошла в попытках выявить, насколько достоверны результаты. Участники боялись, что желаемое выдается за действительное. Однако все доказательные аргументы были представлены, и публикации 1995 г. стали основой для дальнейшего развития работ в этом направлении. За прошедшие с тех пор годы в области, называемой бозе-эйнштейновской конденсацией, прогресс огромен, в первую очередь благодаря исследованиям именно этих двух групп, хотя сейчас уже более десятка других коллективов изучают разные аспекты этого явления. Группы под руководством лауреатов не только обнаружили бозе-конденсат, но и представили научной обществу фантастический набор экспериментальных результатов. Было доказано, что образуется действительно когерентная система. Так, если дать возможность двум конденсатам перекрыться (т.е. создать сначала два изолированных конденсата, а затем «снять» магнитные ловушки, чтобы атомные облака могли перекрыться), наблюдается яркая интерференционная картина. Она демонстрирует, что макроскопический конденсат описывается на уровне волновой функции, а не на уровне представлений о плотности частиц, и именно поэтому два конденсата испытывают интерференцию так же, как, например, две оптические волны.

Другим свидетельством когерентности и возникновения внутренних квантовых корреляций было экспериментальное обнаружение предсказанного в нашей группе эффекта замед-

ления всех неупругих процессов в конденсате. Наиболее выразительна в этом смысле рекомбинация — поскольку конденсат является метастабильным состоянием, он со временем должен распасться, образуя молекулы. Но для образования молекулы надо, чтобы столкнулись три частицы. Предсказание заключалось в том, что в бозе-конденсате вероятность такого процесса уменьшается в шесть раз. Можно провести эксперимент: сначала измерить скорость рекомбинации в газе при температуре выше температуры перехода, а затем охладить его и снова измерить скорость рекомбинации. Этот эффект, который сейчас называют эффектом «одной шестой», был впервые обнаружен той же группой в JILA.

Другое исключительно интересное явление, которое удалось наблюдать, — сверхтекучесть системы после того, как возникла бозе-конденсация. Это совсем не очевидное событие: известная сверхтекучесть гелия (^4He) имеет место при расстояниях между частицами порядка обычного атомарного размера, а бозе-конденсат — это разреженный газ (его плотность не превышает 10^{15} см^{-3} — на много порядков величины меньше, чем 10^{22} см^{-3} в случае гелия). И все же в очень сильно разреженном газе возникает сверхтекучесть. Экспериментально проверяется это так: если перемещать какой-то объект (в данном случае — луч лазера) с малой скоростью, сначала ничего не происходит, но если превысить некоторую критическую скорость, начинается рождение возбуждений в системе, и система разогревается со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Следующий шаг — обнаружение квантовых вихрей, которые были известны для сверхтекучей жидкости и для сверхпроводников. Сейчас можно наблюдать оптически, как возникает завихренное движение в газе. Причем уже достигнуты такие условия, когда образуется ре-

шетка вихрей типа решетки А.А.Абрикосова, предложенной для сверхпроводников (система вихрей, взаимодействующих между собой и выстраивающихся в правильную решетку). В этом году возникло новое направление, связанное с наложением на конденсат оптической решетки. Последняя образуется лазерными пучками одинаковой энергии и противоположного направления, формирующими стоячую волну в газе. Становится возможным изучать бозе-газ, помещенный в одно-, двух- и трехмерную решетку, менять высоту барьера, плотность частиц, и многие другие параметры, которые трудно моделировать при изучении, например, движения электронов в периодическом потенциале кристалла. Теперь возникла возможность последовательно изучать фазовые переходы для конденсата в кристалле, влияние размерности на флуктуации фазы, роль взаимодействия и возбуждений в туннелировании кон-

денсата и другие процессы, составляющие фундамент мезоскопической физики.

Итак, новая область вышла на уровень, когда исследуется не только само явление в разных его аспектах, но и изучаются самые тонкие особенности, связанные с макроскопическими квантовыми системами. С помощью бозе-конденсации газов можно получить атомарный лазер. Оптический лазер, как известно, — это устройство, в одном квантовом состоянии которого накапливается большое количество фотонов, имеющих идентичную поляризацию и фактически одно направление движения. Такую же картину мы наблюдаем у атомов, испытавших бозе-конденсацию. Все они находятся в одном энергетическом состоянии, и если они обладают спином, он тоже у всех направлен одинаково. И поэтому, если выпустить пучок таких атомов из ловушки (например, за счет падения под действием силы тяжести), он будет эквива-

лентен лазерному, т.е. появится когерентный пучок идентичных атомов, очень хорошо коллимированный. Таким образом получаем совершенно новое устройство с длиной волны, которая определяется для частиц длиной волны де Бройля. Этот атомарный лазер может эффективно использоваться для создания и изучения микро- и наноструктур, потому что по длине волны соответствует масштабам этих систем. В плане практических приложений лауреаты также рассчитывают, что благодаря их экспериментам будет достигнут прогресс в создании атомных часов с уникальной точностью.

Суммируя сказанное, можно уверенно заявить: Нобелевской премией были отмечены выдающиеся работы, которым суждено сыграть существенную роль в современной науке.

© Академик **Ю.М.Каган**
Российский научный центр
«Курчатовский институт»
Москва ■

По химии — У.Ноулс, Р.Нойори, Б.Шарплесс

Нобелевская премия по химии за 2001 г. присуждена трем химикам «за достижения в области каталитического асимметричного синтеза», причем американец У.Ноулс и японец Р.Нойори удостоены этой высокой награды «за разработку хирально катализируемых реакций гидрирования», а третий лауреат — американец Б.Шарплесс — «за разработку хирально катализируемых реакций окисления». Премияльная сумма в 10 млн шведских крон разделена Нобелевским комите-

том не поровну: одну половину получили Ноулс и Нойори, а другую — Шарплесс.

Уильям С. Ноулс (William S. Knowles) родился в 1917 г. в Соединенных Штатах Америки. Степень доктора наук получил в 1942 г. в Колумбийском университете, до ухода на пенсию (1986) работал в фармацевтической фирме «Monsanto Company» (г. Сент-Луис, штат Миссури).

Риёджи Нойори (Ryoji Noyori) родился в г. Кобе в 1938 г. Доктор наук стал в 29 лет, когда ра-

ботал в Университете г. Киото, с 1972 по 2000 г. занимал должность профессора химии в Университете г. Нагойя; сейчас он — директор Исследовательского центра наук о материалах при этом же университете.

К. Барри Шарплесс (K. Barry Sharpless) родился в 1941 г. в Филадельфии (штат Пенсильвания, США). Защитил докторскую диссертацию в Станфордском университете (1968), с 1990 г. — профессор Скриппсовского исследовательского института в Ла-Холья (штат Калифорния).



Б. Шарплесс.



Р. Нойори.



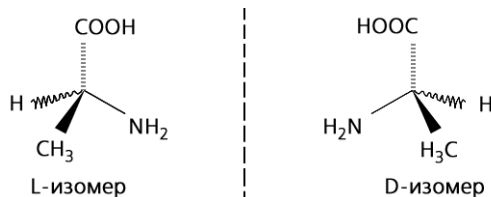
У. Ноулс.

Работы нобелевских лауреатов связаны с синтезом органических соединений, молекулы которых различаются только взаимным расположением атомов в пространстве, поэтому их называют стереоизомерами. Некоторые из них проявляют оптическую активность: один изомер вращает плоскость поляризации света вправо, а другой влево. Структуры этих оптических антиподов соотносятся как предмет и его зеркальное отражение или как правая рука и левая. Такие изомеры именуют также зеркальными и хиральными (от гр. χεῖρ — рука). По принятой сейчас абсолютной номенклатуре левовращающие изомеры обозначаются буквой S, а правовращающие — R. Правда, для оптических изомеров аминокислот и углеводов нередко употребляются первоначальные обозначения — L и D.

Изучению оптической асимметрии молекул были посвящены еще первые работы Л. Пастера (1848). Именно он показал, что различия в оптической активности кристаллов винной кислоты обусловлены присутствием двух асимметричных форм.

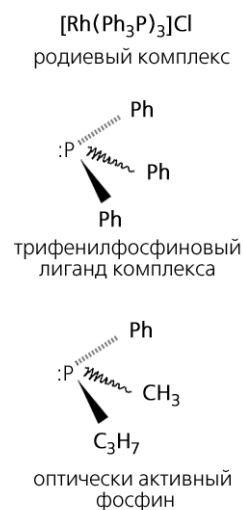
В 1874 г. голландский химик Я. Х. Вант-Гофф и его французский коллега Ж. А. Ле Бель предложили объяснение оптической изомерии органических соединений наличием в них центрального атома углерода, вокруг которого, как по углам тетраэдра, располагаются четыре разные группы. (Кстати, Вант-Гофф

был удостоен Нобелевской премии в год ее учреждения, правда, за другие открытия.) Это объяснение и стало основой стереохимии, которая сейчас проникла уже в биохимию, биофизику, молекулярную биологию. Теперь известно, что из зеркально-симметричных молекул построены все биополимеры: в состав пептидов и белков, например, входят только левовращающие аминокислоты (L-форма), а сложные углеводы и нуклеозиды (мономеры ДНК и РНК) включают лишь правовращающие сахара (D-изомеры). Иными словами, природные соединения хирально чисты. Именно такая чистота лежит в основе матричного синтеза, ферментативного катализа, иммунных реакций, т.е. всех биохимических процессов, где требуется узнавание одних молекул другими. Отсюда следует важный вывод: если природе свойственна избирательность в отношении оптических антиподов, то лекарственные препараты на основе органических молекул тоже должны быть хирально чистыми. Таким образом, задача синтетиков — получать лишь одну зеркальную форму, один нужный энантиомер.



Зеркальные изомеры аминокислоты аланина.

Однако осуществить такой синтез весьма не просто, поскольку в ходе его с равной вероятностью образуются обе формы. Эту трудность успешно преодолел Ноулс. В 1968 г. он обнаружил, что можно получать требуемый изомер, если использовать для синтеза оптически активный катализатор. Идея создать его была основана на двух работах других исследователей. Английский химик Дж. Уилкинсон, занимавшийся металлоорганическими соединениями «сэндвичевого» строения, за которые он вместе с Э. Фишером получил Нобелевскую премию в 1973 г., синтезировал растворимый в воде комплекс трифенилфосфинородийхлорид $[\text{Rh}(\text{Ph}_3\text{P})_3]\text{Cl}$. Это соедине-



Структурные элементы, из которых У. Ноулс синтезировал катализатор для асимметричного гидрирования.

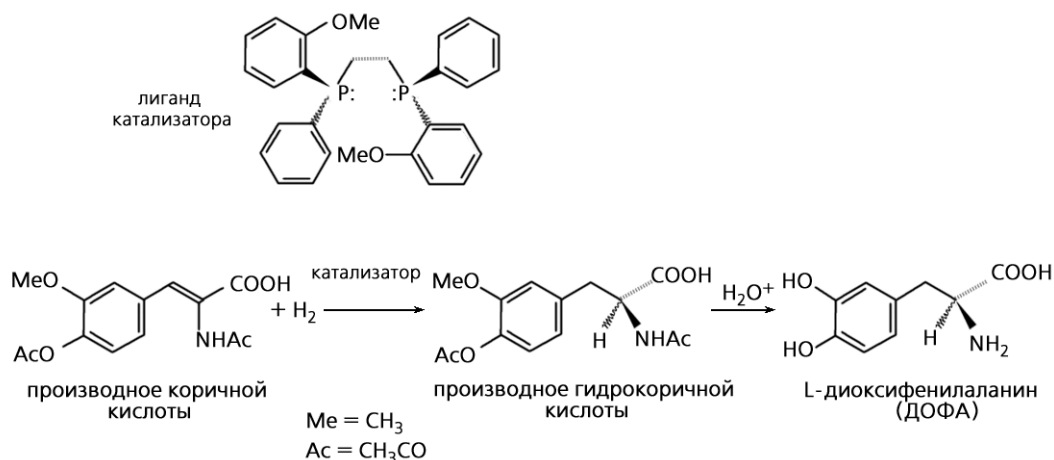


Схема реакции, по которой получают левовращающий изомер диоксифенилаланина (ДОФА), применяемого для лечения паркинсонизма.

ние с переходным металлом не обладало оптической активностью, но катализировало реакции гидрирования — присоединение атома водорода. Когда Хорнер и Мислоу заменили в трифенилфосфине одну фенильную группу на метильный остаток, а другую на этильный, они получили оптический изомер фосфина. После этого Ноулс и предположил, что, заменив трифенилфосфиновую группу в металлокомплексе Уилкинсона на энантиомер Хорнера и Мислоу, можно получить зеркально-симметричные формы катализатора, который в реакциях гидрирования будет превращать оптически неактивный реагент (субстрат) в лево- или правовращающий продукт реакции.

Эксперименты Ноулса по катализу асимметричного гидрирования оказались успешными и открыли новое поле исследований как в академической науке, так и в промышленном синтезе. Индустриальное получение аминокислоты L-ДОФА (диоксифенилаланина), которую начали применять для лечения паркинсонизма, тоже плод достижений Ноулса. Вместе с коллегами он перебрал энантиомеры фосфинов разной структуры, прежде чем создать нужный катализатор, а получив его, быс-

тро достиг желаемого результата. В «Monsanto Company», где работал Ноулс, по его способу стали синтезировать L-ДОФА в промышленных масштабах, причем выход конечного продукта достигал 97.5 %.

Дальнейшая разработка каталитического асимметричного синтеза принадлежит японскому химику Р.Нойори. К 1980 г. он уже создал оба стереоизомера катализатора, в котором родий связан уже с другим лигандом — динафтилдифенилфосфином. С той поры можно было получать нужный энантиомер требуемой

аминокислоты с выходом, приближающимся к 100%. Этот же лиганд с начала 80-х годов используется компанией «Takasago International» для промышленного синтеза ментола.

Однако Нойори видел необходимость конструирования катализатора, который был бы пригоден для гидрирования более широкого круга соединений. Добиться этого ему удалось, когда переходный металл родий был заменен на рутений. Созданный катализатор обеспечивал присоединение атома водорода по месту разрыва двой-

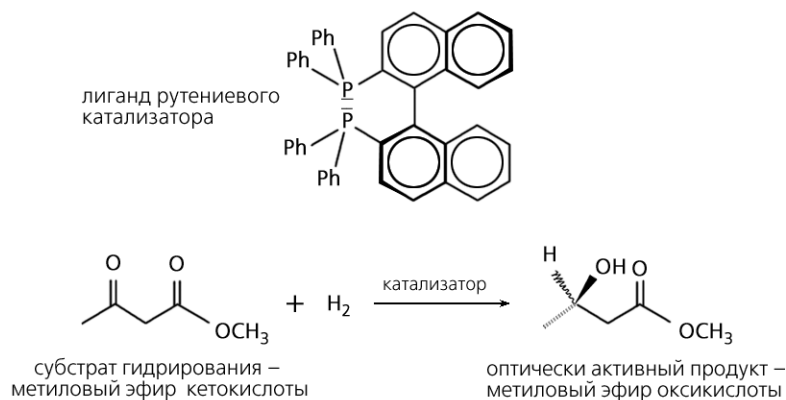


Схема стереоселективного восстановления кетона. С помощью разработанного катализатора, в который Нойори включил рутений и оптически активный лиганд динафтилдифенилфосфин, эфир кетокислоты восстанавливается до эфира оксикислоты, а выход требуемого энантиомера составляет 99.5 %.

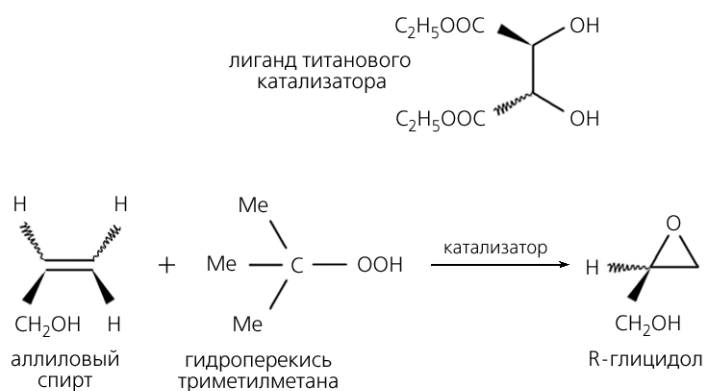


Схема окисления аллилового спирта с помощью титанового катализатора, разработанного Б.Шарплессом.

ной связи в органических соединениях разных классов и вполне годился для промышленного синтеза энантиомеров многих веществ. Так была впервые получена R-форма двухатомного спирта 1,2-пропандиола (1,2-пропиленгликоля), который необходим для индустриального синтеза антибиотика левофлоксацина. За счет подобных реакций в фармацевтической промышленности начали производить и другие антибиотики. Катализаторы Нойори нашли применение в синтезе оптически чистых химических веществ, лекарственных препаратов и неизвестных до его открытий материалов.

Бок о бок с работами по каталитическому синтезу энантиомеров в реакциях гидрирования шли исследования Б.Шарплесса, который занимался созданием оптически активного катализатора для реакций другого типа — окислительных. И такой катализатор — комплексное соединение, содержащее титан в качестве переходного металла и оптический изомер диэтилового эфира винной кислоты в качестве лиганда, — был синтезирован. В 1980 г. Шарплесс провел серию успешных экспериментов, приведших его к практическому воплощению каталитического окисления оптически

неактивного аллилового спирта до R-изомера глицидола с выходом 95 %.

Открытый Шарплессом метод получения эпоксидных стереоизомеров многие ученые считают наиболее важным достижением за последние несколько десятилетий. Это вполне понятно, так как эпоксиды служат промежуточными продуктами во многих типах промышленного синтеза. Эпоксиглицидол, например, используется в фармацевтической индустрии для получения бета-блокаторов, необходимых в кардиологии. Чрезвычайно важен метод Шарплесса и для академических исследований, поскольку позволяет получать разные структурные варианты из одного и того же исходного продукта.

Достижения нобелевских лауреатов 2001 г. неопределимы для совершенствования индустрии по синтезу многих лекарственных препаратов, ароматизирующих веществ, подсластителей и даже инсектицидов. Фундаментальная же наука обогатилась методами, крайне необходимыми не только в химии, но и в биологии, медицине, а также в создании новых материалов.

© Л.П.Белянова,
кандидат химических наук
Москва ■

По физиологии и медицине — Л.Хартвелл, П.Нерс, Т.Хант

Нобелевская премия по физиологии и медицине за 2001 г. присуждена американцу Леланду Хартвеллу и англичанам Тимоти Ханту и Полу Нерсу. Этой награды ученые удостоились за значительные достижения в области ис-

следований клеточного цикла. В заявлении Нобелевского комитета говорится, что эти открытия «будут применяться при диагностике опухолей и в конце концов приведут к разработке новых способов борьбы с раком».

Леланд Хартвелл (Leland H.Hartwell) родился 30 октября 1939 г. В 1961 г. окончил Калифорнийский технологический институт, а в 1964 г. защитил диссертацию в Массачусетском технологическом институте. За эти годы он успел поработать



Л.Хартвелл.



П.Нерс.



Т.Хант

в лабораториях у всех знаменитостей — в том числе в одной команде с Г.Теминым у Р.Дюльбекко и с Б.Эдгаром в группе М.Дельбрюка. В 1973 г. Хартвелл стал профессором Университета им. Дж.Вашингтона в Сиэтле, где продолжает работать и до сих пор. Одновременно он еще и президент Центра исследования рака им.Ф.Хатчинсона. Новый нобелевский лауреат — член Национальной академии наук США и лауреат целого ряда профессиональных премий: «General Motors» (1991), С.Шубитца Чикагского университета (1992), Горвитца и Пассано Колумбийского университета (1996), А.Ласкера Американского национального общества здоровья (1998), Маскри (2000), отмечен медалью Американского общества генетиков (1994). Кроме того, Хартвелл — один из основателей компании «Rosetta Inpharmatics», впервые создавшей систему анализа экспрессии генов в клетке.

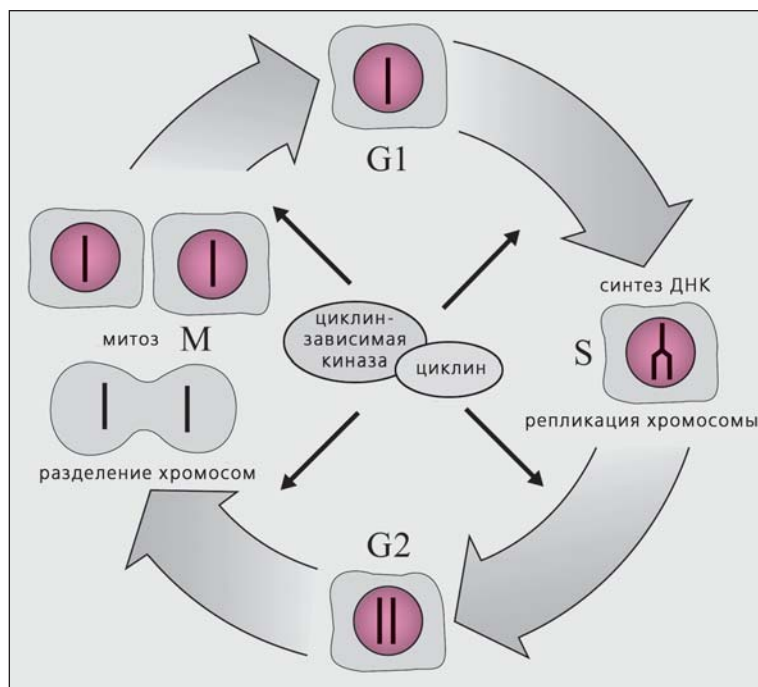
Когда Хартвелл всерьез занялся изучением жизненного цикла такого примитивного одноклеточного организма, как пекарские дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* (а это было более 30 лет назад), никто не верил, что оно может принести пользу. Однако дрожжи не так просты, как на первый взгляд кажется. Выяснилось, что этот экспериментальный объект — почти идеальная модель для изучения эвкариотической клетки: дрожжи не только умеют размножаться и выделять вещества, способствующие бро-

жению, но и осуществляют другие процессы и действия, свойственные клеткам весьма высокоорганизованных живых существ. Например, дрожжи успешно справляются и с ответом на сигналы внешней среды, и с постоянно возникающими под ее влиянием мутациями ДНК. В геноме дрожжевой клетки присутствуют гены, родственные всем основным классам генов высших эвкариот, в том числе и человека, однако у дрожжей этих генов гораздо меньше и организованы они проще. А это значит, что структура и функции дрожжевой клетки гораздо легче поддаются детальному анализу.

Главная идея Хартвелла заключалась в том, что изучение жизненного цикла дрожжевой клетки может оказаться полезным для исследований тонкой регуляции размножения нормальных, а также опухолевых клеток человека. Проведя элегантную серию экспериментов с температурочувствительными мутантами в 1970—1971 гг., Хартвелл создал банк дрожжевых штаммов, в которых отдельные гены, влияющие на определенные параметры жизненного цикла этих организмов, не работали. В дальнейшем к экспериментам подключились и другие исследователи. В течение нескольких лет было выделено более сотни дрожжевых генов, в том числе *cdc*-гены (от англ. cell division cycle), продукты которых участвуют в процессах клеточного деления. Один из этих генов, полу-

чивший в номенклатуре Хартвелла название *cdc28*, контролирует самое начало жизненного пути клетки — «старт». Белковый продукт CDC28 отвечает за выбор времени деления клетки, запуск почкования, репликацию ДНК, формирование митотического веретена и разделение хромосом. Все эти процессы связаны с активизацией киназной активности белка CDC28, фосфорилирующего другие белки дрожжевой клетки.

Позднее в лабораторию Хартвелла пришел новый сотрудник, Т.Вейнерт, который вплотную занялся вопросами регуляции клеточного цикла и заинтересовал этим своего научного руководителя. Вместе они обратили внимание на интереснейший феномен остановки клеточного цикла в ответ на облучение. Дело в том, что никаких причин для остановки не было и быть не могло — все основные типы генов, вовлеченных в процесс деления клетки, уже были учтены. Тогда сотрудники Хартвелла попытались выделить гены, выполняющие «полицейские» функции — специально тормозящие клеточный цикл. Мысль о существовании «полицейских» генов вовсе не тривиальна: в те годы считалось, что в ходе отбора одноклеточных организмов поддерживаются в основном свойства, способствующие их размножению, а вовсе не задерживающие его. В процессе исследования оказалось, что «полицейских» генов довольно много, и все они получили серийное имя *rad*, к которому обычно добавляется порядковый номер, например *rad51*. Белковые продукты некоторых *rad*-генов «чувствуют», что в ДНК под влиянием облучения появились разрывы или неверно спаренные нуклеотиды. Другие RAD-белки организуют тщательную проверку состояния ДНК, для чего останавливают клеточный цикл, позволяя ферментам репарации ДНК спокойно разобраться в ситуации. Такая процедура получила обще-



Фазы клеточного цикла эукариотической клетки: G1 — от конца митоза до начала синтеза ДНК, S — синтез ДНК, G2 — от конца синтеза ДНК до митоза, M — митоз. В центре — белковый комплекс циклина с циклин-зависимой киназой, активность которой определяет ту или иную стадию цикла (показано стрелками).

признанное в англоязычной литературе название *checkpoint* (контрольный пункт) — термин впервые введен Хартвеллом.

Сэр Пол Нерс (Sir Paul M.Nurse) родился 25 января 1949 г. По словам самого лауреата, интерес к науке возник у него довольно рано, когда впервые увидел пролетающий в небе спутник. В 1970 г. Нерс закончил Бирмингемский университет, а в 1973 г. защитил диссертацию в Университете Восточной Англии. Впоследствии он работал в Эдинбургском университете, в 1996 г. стал директором Королевского фонда исследования рака, где возглавляет лабораторию по исследованию клеточного цикла. Международное признание Нерса выразилось в присуждении ему премий: Международного Гарднеровского фонда (1992), «General Motors» (1997), А.Ласкера Американского национального общества здоровья (1998). Однако наибольшего призна-

ния он достиг на родине, где в 1999 г. его посвятили в рыцари и присвоили ему титул сэра.

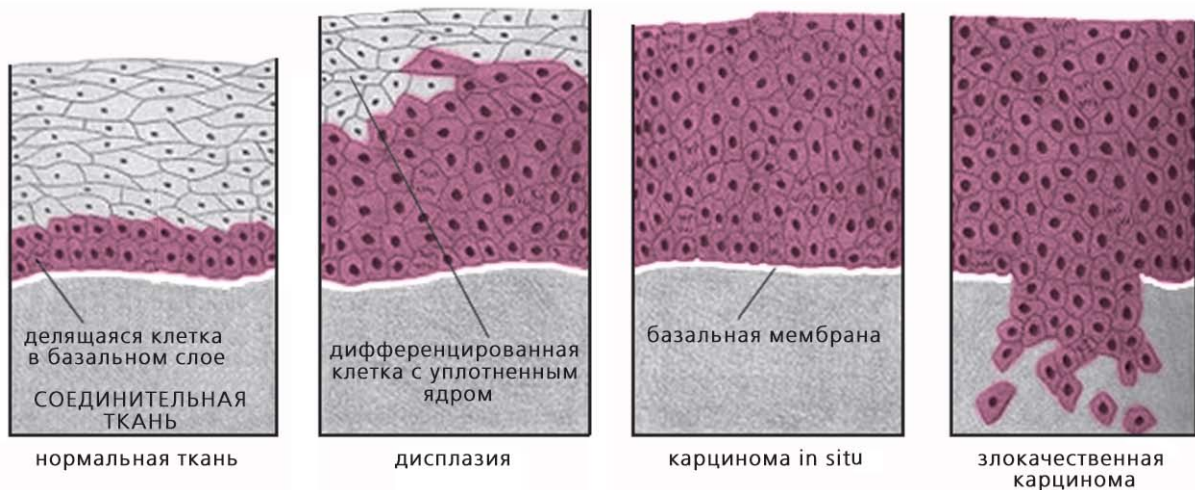
Научный путь Нерса, приведший его к Нобелевской премии, также начался с интереса к одноклеточным дрожжам, но другого вида — *Schizosaccharomyces pombe*. Результаты изучения оказались близкими к выводам Хартвелла: Нерс открыл ген *cdc2* (в современной номенклатуре *cdc1*), который кодирует белок, гомологичный продукту гена *cdc28* из пекарских дрожжей, и описал его протеинкиназные функции. Впоследствии Нерс переключился на исследование клеток высших эукариот. Ему удалось клонировать человеческий ген, отвечающий за «старт». Это была непростая история, поскольку протеинкиназа в человеческих клетках оказалось множество. К счастью, в лаборатории Нерса работала М.Ли, придумавшая, как можно решить эту проблему. Вместе они создали кло-

нотеку из отдельных человеческих генов и поместили их по отдельности в клетки дрожжей с дефектом гена *cdc2*, причем сделали так, чтобы чужеродные человеческие гены смогли работать.

Эксперимент Нерса был не только очень смелым, но и чрезвычайно удачным. Дрожжи, в клетки которых попали гены, не имевшие отношения к *cdc2*, так и не начали размножаться, а клетки-счастливчики, получившие человеческий ген *cdc2*, выросли и образовали колонию. Чужеродный ген «спас» их (в генетике это явление называется комплементацией). Так впервые было показано, что гены столь несходных организмов, как человек и дрожжи, взаимозаменяемы. В таком случае логичным выглядит и утверждение, что основные законы функционирования клетки, изученные на простых одноклеточных дрожжах, верны и для клеток человека. В результате дрожжи по праву заняли место одного из важнейших модельных организмов.

Тимоти Хант (Timothy R.Hunt) родился 19 февраля 1943 г. В 1964 г. окончил Кембриджский университет, а в 1968 г. там же получил ученую степень. С 1991 г. — ведущий ученый Королевского фонда исследования рака, где работает вместе с Нерсом. Хант — лауреат премии им.Абрахама Уайта, присуждаемой за научные достижения (1993).

Главное научное достижение Ханта — открытие в 80-х годах циклинов (небольших белков, которые образуют комплексы с протеинкиназами, запускающими процесс деления клетки). Без циклинов эти ферменты не способны работать, поэтому в настоящее время самым распространенным их названием стало словосочетание «циклин-зависимые киназы». В клетке содержится несколько типов циклинов, относительная концентрация которых меняется в зависимости от стадии клеточного цикла. Если циклин-зависимая киназа — это «мотор» клеточного цикла, то набор циклинов —



Стадии развития злокачественной опухоли. При дисплазии клетки с разбалансированным геномом, над которым утрачен контроль, начинают делиться быстрее обычных и получают селективное преимущество перед нормальными. В случае карциномы *in situ* эти свойства приобретают все клетки эпителия, однако истинная злокачественность проявляется, когда они начинают проникать сквозь базальную мембрану и внедряются в подлежащую соединительную ткань.

«коробка передач», которая осуществляет тонкую настройку циклин-зависимых киназ. Хант показал, что, отработав свое, циклины быстро разрушаются и клетка снова становится чувствительной к сигналам, регулирующим деление. Это позволяет ей быстро реагировать на изменяющуюся обстановку, прекращая или возобновляя деление в зависимости от внешних сигналов.

Впоследствии Хант продолжил работу на примитивном модельном объекте — клетках морского ежа из рода *Arbacia*, а затем и на других живых организмах. Выяснилось, что циклины почти не изменились в процессе эволюции. Сейчас Хант изучает регуляцию клеточного цикла на модели ооцитов и эмбрионов шпорцевой лягушки *Xenopus laevis*.

Как же получилось, что ученым, работавшим на дрожжах и морских ежах, дали Нобелевскую премию за исследования в области канцерогенеза? Напомним, что за деление клеток дрожжей и человека отвечают одни и те же гены, претерпевшие лишь небольшие изменения в процессе эволюции. У большинства известных типов опухолевых клеток нарушена регуля-

ция клеточного цикла, причем не каким-то одним, унифицированным способом, а в каждой опухоли по-своему. В одних клетках слишком много циклинов, поэтому они делятся быстрее обычного. В других — ген какой-либо циклин-зависимой киназы мутирован, причем так, что это способствует повышению киназной активности, т.е. делению. В третьих — отсутствуют или отключены гены, продукты которых ингибируют деление клетки (такие гены тоже есть — большинство из них относится к классу генов-супрессоров, подавляющих рост опухоли).

Но самые «хитрые» опухоли отключают гены группы *rad*, открытые Хартвеллом. Если какой-либо из этих генов отключен, выходит из строя «пункт проверки» (checkpoint) целостности генетического аппарата клетки перед началом деления. В этом случае клетка перестает чувствовать, что с ней что-то не в порядке, игнорирует накопившиеся мутации и вступает в митоз. Из-за этого возрастает мутационная нагрузка на клетку, в ней повреждаются регуляторные механизмы, следящие за генами деления, открытыми Нерсом и Хантом. Это значит, что опухолевые

клетки с разбалансированным геномом, над которым утрачен контроль, начинают делиться быстрее обычных и получают селективное преимущество перед нормальными.

Основной способ терапевтического воздействия на опухоли человека — подавление клеточного деления. Дело в том, что нормальные клетки человека делятся гораздо медленнее канцерогенных, поэтому химиотерапевтические препараты, препятствующие размножению клеток, влияют на опухоль гораздо сильнее, чем на прилежащие ткани. Известно, что чем специфичнее препарат, тем меньше у него побочных эффектов, столь тяжелых для пациентов. Открытия нобелевских лауреатов 2001 г. позволили создать несколько лекарственных средств, селективно ингибирующих активность циклин-зависимых киназ. Эти препараты уже прошли клинические испытания и направлены в клиники для продления жизни раковых больных, в том числе пациентов с опухолями мозга.

© А.В.Баранова,
кандидат биологических наук
Институт общей генетики
им.Н.И.Вавилова РАН ■

Новости науки

Астрофизика

Межзвездные планеты-гиганты

В последнее время астрономов смущает новая разновидность небесных тел: эти объекты слишком малы, чтобы подпадать под общеизвестную категорию коричневых карликов, однако перемещаются они в очагах звездообразования подобно звездам, а не планетам¹. Сначала такие объекты сочли аномальными, но их обнаруживалось все больше, и теперь уже ясно, что это новый класс небесных тел.

В феврале 2001г. японские астрономы обнаружили сразу более 100 таких объектов в одной только звездообразующей области неба, известной под названием S106. В рамки существующей теории рождения звезд это никак не укладывалось.

Открытие принадлежит Ю. Оаса (Y.Oasa; Токийский университет) и ее коллегам из японской Национальной астрономической обсерватории. Они работали на принадлежащем этой обсерватории телескопе «Subaru» («Надежда»), который расположен на горе Мауна-Кеа (штат Гавайи, США). Исследовалось излучение в инфракрасной части спектра, идущее из области в созвездии Лебедя, примерно в 2 тыс. св. лет от нас. Астрономы обнаружили здесь свыше сотни коричневых карликов и столько же более слабо светящихся и свободно передвигающихся тел. Построив математическую модель, учитывающую их светимость и предполагаемый возраст, а также используя теорию образования

звезд с весьма малыми массами, теоретики пришли к выводу, что массы объектов нового класса составляют от 5 до 10 масс Юпитера. Это в совершенно новом свете представляет процессы повсеместного возникновения изолированных небесных тел с массами, близкими к планетарным.

Видный американский специалист Дж.Наджита (J.Najita; Национальная оптическая астрономическая обсерватория в Тусоне), одобряя в целом выводы японских коллег, все же призывает провести спектрографический анализ излучения этих объектов, что позволит определить их температуру и уточнить массу.

Открытие ставит под сомнение ряд астрономических положений. Как известно, масса коричневого карлика не превышает примерно 75 юпитерианских², поскольку эта величина служит нижним пределом для начала возгорания водорода и превращения тела в подлинную звезду. С другой стороны, масса коричневого карлика должна превышать 13 Юпитеров, что необходимо для начала синтеза дейтерия, вызывающего слабое свечение. Так как этот нижний предел новооткрытыми объектами не достигнут, их трудно отнести к какой-либо известной категории. Большинство астрофизиков полагает, что коричневые карлики и звезды концентрируются непосредственно из разреженных газов в межзвездных молекулярных облаках, а планеты формируются в газово-пылевых дисках, обращающихся вокруг «новоорожденных» звезд. Однако обнаруженные одинокие тела никак не подходят ни к тем, ни к другим.

² Сурдин В.Г. Коричневые карлики: не звезды и не планеты // Там же. 1999. №7. С.3—12.

¹ Подробнее см.: Сурдин В.Г. Каталог экзопланет // Природа. 2000. №7. С.20—21; Вибед.З. Каталог экзопланет пополняется // Там же. №11. С.84—85.

Существуют две гипотезы, которые хотя бы частично могли решить данную проблему: либо эти объекты были в свое время выброшены из молодых планетных систем, либо они образовались из ядер молекулярных облаков, у которых масса оказалась слишком малой для формирования звезды. Но астроном-теоретик С.Инуцукэ (S.Inutsuka; Киотский университет, Япония) считает ошибочными обе эти гипотезы, так как они не могут объяснить существование столь большого количества загадочных тел, обнаруженных теперь в области S106. Он настаивает на необходимости создания совсем новой теории образования звезд и планет.

Science. 2001. V.291. №5509. P.1680 (США); www.nao.ac.jp

Астрономия

Самый большой астероид

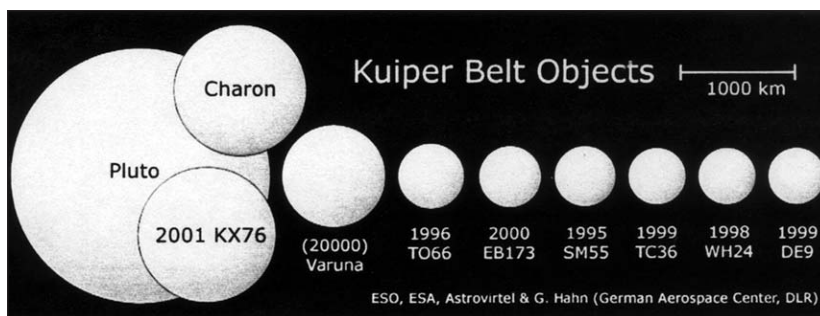
С момента открытия итальянским астрономом Джузеппе Пиацци в январе 1801 г. первого астероида, названного Церерой, эта малая планета до последнего времени оставалась абсолютным рекордсменом по размеру среди всех астероидов Солнечной системы. Впрочем, имея диаметр 950 км, Церера, кажется, навсегда останется крупнейшим представителем своей подгруппы — астероидов Главного пояса, движущихся в основном между орбитами Марса и Юпитера. Однако спустя 200 лет после обнаружения ей пришлось уступить абсолютное первенство другой малой планете, обитающей на окраине Солнечной системы, в Поясе Койпера.

Группа американских астрономов под руководством Р.Миллиса

(R.Millis; Ловелловская обсерватория, Флагстафф) сообщила 2 июля 2001 г. об открытии за орбитой Плутона нового крупного объекта¹, получившего предварительное обозначение 2001 KX76. По расчетам, его диаметр составляет не менее 1200 км, а возможно, даже 1400 км, и, следовательно, он стал крупнейшим среди сотен обнаруженных в последние годы объектов Пояса Койпера, включая спутник Плутона — Харон (диаметр 1150 км). Лишь сам Плутон (диаметр около 2300 км) пока не уступает по размеру другим занептунским телам и поэтому сохраняет гордое имя планеты. Впрочем, мало кто сомневается, что в ближайшие годы на окраине Солнечной системы будут обнаружены объекты крупнее Плутона.

Напомним, что до 1992 г. астрономы были знакомы только с одной парой объектов за орбитой Нептуна — это Плутон, открытый в 1930 г., и его относительно крупный спутник Харон, обнаруженный в 1978 г. Но давно уже подзревало существование большого скопления занептунских тел. Англичанин К.Эджворс (K.E.Edgeworth) в 1949 г. и американский астроном голландского происхождения Дж.Койпер (G.P.Kuiper) в 1951 г. высказали предположение, что за орбитами планет-гигантов, на расстоянии 35–50 а.е. от Солнца, имеется некий «пояс» — источник короткопериодических комет. Однако долгое время в этой области не удавалось найти ни одного объекта, кроме Плутона с его спутником. В конце 1992 г. сотрудники Гавайского университета в Гонолулу Д.Джюит (D.Jewitt) и Дж.Луу (J.Luu) обнаружили первый занептунский объект. Теперь их известно уже несколько сотен, и совершенно очевидно, что открыты лишь самые близкие и крупные из них, поскольку даже для их обнаружения потребовались предельно мощные телескопы.

Поиск занептунских объектов считается сейчас весьма перспективным, и для этих работ выделя-



Относительный размер крупнейших объектов Пояса Койпера на фоне двойной планеты Плутон—Харон.
ESO Press Photo 03a/01 27-b/01 23. August 2001

ется время на крупнейших телескопах мира, включая 10-метровые рефлекторы Кек-I и Кек-II на Гавайских о-вах. Ожидается, что за орбитой Нептуна могут существовать десятки тысяч объектов, подобных найденным, и миллионы более мелких, подобных ядру кометы Галлея, т.е. диаметром в 5–10 км. По оценкам, это скопление малых тел в сотни раз массивнее Главного пояса астероидов. До сих пор окончательно не установилось название области, населенной занептунскими объектами: в Европе ее пока предпочитают называть Поясом Эджворса—Койпера, тогда как американские астрономы называют ее просто Поясом Койпера; похоже, это название утвердится по причине краткости.

Нет пока определенности и с номенклатурой объектов: до недавнего времени им в момент открытия давали предварительное обозначение (включающее год открытия, как у объекта 2001 KX76), а после детального исследования присваивали очередной астероидный номер. Однако в юбилейном 2000-м году крупнейшему на тот момент телу Пояса Койпера присвоили номер 20 000 и дали собственное имя — Варуна. Очевидно, теперь придется искать имя и для чемпиона 2001 KX76. В рамках Международного астрономического союза (МАС) Комитет по номенклатуре малых тел решил, что объектам Пояса Койпера следует давать мифологические имена, связанные с со-

творением Мира. Предложения принимаются (www.iau.org).

Занептунские объекты пока трудно отнести к какому-либо классу малых тел Солнечной системы. Возможно, у них окажется нечто общее с двойной планетой Плутон—Харон или со спутником Нептуна — Тритоном. Правда, эти тела настолько массивны, что удерживают вокруг себя некое подобие атмосферы (у Плутона она временами замерзает и ложится снегом на поверхность). В отличие от них новооткрытые объекты малы и не могут удерживать газ у поверхности. В этом смысле они сродни астероидам и кометам. Но состав их поверхности до сих пор не известен, поскольку получить спектры таких далеких и маленьких тел — задача очень сложная. Пока лишь обнаружено, что у некоторых из них поверхность необычайно красного цвета, что, возможно, указывает на ее древний состав и присутствие органических соединений. Свет они отражают так же плохо, как Луна (коэффициент отражения от 4 до 7%).

Рассказ об открытии нового объекта будет неполным, если не отметить новую технологию в работе астрономов. Обычно после обнаружения далекого объекта Солнечной системы, очень медленно перемещающегося на фоне звезд, требуется несколько лет наблюдений для окончательного установления его орбиты. Но в данном случае работа сократилась до нескольких недель. Помог исследователям виртуальный телескоп

¹ ESO Press Release. 23 August 2001.

Европейской южной обсерватории *Astrovirtel* — база данных, в которой собираются снимки, полученные на нескольких крупных телескопах при наблюдениях самых разных объектов. Проверив, не фотографировал ли кто-нибудь в прошлом участки неба, по которым должна проходить орбита 2001 KX76, Г.Хан (G.Hahn; Германский аэрокосмический центр) и его коллеги действительно обнаружили несколько подходящих старых снимков, по которым смогли проследить траекторию астероида начиная с 1982 г. Это позволило с высокой точностью рассчитать его орбиту и вычислить современное расстояние до него, а значит, и его размер. Любопытно, что важную часть расчетов на своем домашнем компьютере выполнил астроном-любитель из Германии А.Гнедиг (A.Gnaedig). Важно, что *Astrovirtel* доступен не только профессионалам, но и всем желающим, хотя для работы с этой базой данных требуется квалификация. И это лишь первый шаг к более грандиозному проекту Астрономической виртуальной обсерватории, которая объединит в цифровом виде все изображения неба, полученные за всю историю науки астрономами всех стран.

© В.Г.Сурдин,
кандидат физико-математических наук
Москва

Планетология

На Ганиমেде — тоже океан!

Ганимед — крупнейший из галилеевых спутников Юпитера и третий по удаленности от своей планеты. Ближайший к Юпитеру спутник — Ио — наиболее вулканически активное небесное тело во всей Солнечной системе. Его высокая температура привела к полной (или почти полной) утрате воды. На остальных же трех — Европе, Ганимеде и Каллисто — водяной лед, судя по спектроскопическим данным, не только сохранился, но и составляет основную часть поверхностных пород.

Сотрудники Института геофизики и планетологии при Университете штата Гавайи в Гонолулу (США) во главе с геохимиком Т.Б.Маккордом (Т.В.McCord) изучили данные наземных наблюдений, полученные на картирующем спектрографе в ближнем инфракрасном диапазоне. Эти данные подтвердили предположения о присутствии на поверхности Ганимеда льда различного происхождения. Выяснилось, что водяной лед в основном скапливается в районах полюсов и на той стороне Ганимеда, которая при его движении вокруг Юпитера оказывается ближе к планете. Встречаются как аморфные, так и кристаллические формы льда. Их скопления распределены на поверхности весьма неравномерно, образуя крупные пятна, чередующиеся с оголенными районами. Такая пятнистость, возможно, связана с разной температурой поверхности (яркие участки, по-видимому, холоднее).

В двух районах Ганимеда (27° ю.ш., 259° з.д. и 3° с.ш., 274° з.д.), отличающихся темной окраской и обильно усеянных кратерными впадинами, спектральные данные особенно четко показали присутствие гидрированных веществ.

При сравнении спектральных характеристик Ганимеда и Европы, на которой существование подледного океана считается доказанным, было обнаружено значительное их сходство; главное различие состоит лишь в том, что размеры зерен льда на Европе крупнее.

Для Ганимеда особенно характерны спектральные линии, свидетельствующие о присутствии рассолов $MgSO_4$. Заметно по линиям на спектрах и некое «третье» вещество, помимо водяного льда и гидрированных минералов.

Исследователи пришли к выводу, согласно которому на поверхности Ганимеда существуют жидкие рассолы (или их отложения), которые проникали когда-то из недр. Это подтверждает предположение, которое было сделано исходя из полученных от «Galileo» магнитометрических данных:

под самой поверхностью Ганимеда находится слой жидкости, обладающей электропроводностью. Вероятно, как и у Европы, под ледяным покровом здесь плещутся моря или даже единый океан, насыщенный $MgSO_4$.

Science. 2001. V.292. №5521. P.1523 (США).

Техника

Первое ВТСП-устройство — для РАО ЕЭС

Энтузиазм, вызванный открытием высокотемпературных сверхпроводников, не в последнюю очередь был связан с перспективой близкого эффективного внедрения ВТСП-устройств в электроэнергетику¹.

В последнее время достигнуты значительные успехи в использовании ВТСП-материалов на основе висмутовой керамики для ограничителей аварийных токов в электросетях. Так, «Power Superconductor Applications» (Питтсбург, США), основанная в 1986 г. специально для разработки и производства высокоточных сверхпроводящих устройств, построила целую серию токоограничителей с ВТСП-обмотками, которые получили название «Cryo-Pinch». Рассчитанные на работу при частоте 60 Гц и напряжении от 480 В до 38 кВ (для разных модификаций), они в значительной степени устраняют необходимость иметь в энергетических системах различные электромагнитные устройства для разрыва цепей (например, достаточно инерционные масляные выключатели) или предохранители (силовые плавкие вставки, пиротехнические защитные устройства). Их дополнительное преимущество — малое время реакции на аварийные изменения в сети (несколько миллисекунд). Кроме того, применение «Cryo-Pinch» позволит увеличить число новых клиентов энергосистемы без

¹ См., напр.: Сверхпроводники приходят в электросеть // Природа. 2001. №7. С.80; Первый ВТСП-кабель уже в деле! // Там же. №8. С.83.

включения дополнительных компенсирующих устройств и трансформаторов.

Разработка ВТСП-токоограничителя по заказу РАО ЕЭС началась и в России. Участие в ней принимают три организации — Институт сверхпроводимости и физики твердого тела РНЦ «Курчатовский институт», Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им.А.А.Бочвара» и АО «Всероссийский научно-исследовательский институт электроэнергетики».

В ВТСП-токоограничителях, разрабатываемых зарубежными фирмами, используется, как правило, переход сверхпроводника в нормальное состояние. Это несколько снижает быстродействие ограничителя за счет медленного восстановления сверхпроводящего состояния. Как утверждает один из руководителей российского проекта, начальник отдела криогенных установок РНЦ «Курчатовский институт» В.Е.Кейлин², существует лишь один тип ограничителя, лишенный этого недостатка, — ограничитель с подмагничиванием магнитопровода, в котором его намагниченность поддерживает сверхпроводящая обмотка. В ждущем режиме индуктивность системы мала, пока не произойдет короткое замыкание и через силовую обмотку не пойдет ток большой величины. При этом магнитопровод выходит из состояния насыщения, индуктивность возрастает, ограничивая переменный ток в сети. Достоинство конструкции с магнитопроводом состоит в том, что обмотка всегда остается сверхпроводящей и реально работает в режиме постоянного тока (что немаловажно для сверхпроводника, не «любящего» переменный ток). Именно эта конструкция и будет разрабатываться в российском проекте. Экспериментальный токоограничитель рассчитан на мощность 1 МВ·А и напряжение 1 кВ. Он будет испытан

на стендах ВНИИ электроэнергетики, а затем, возможно, и в действующей системе Мосэнерго.

Конструкция потребует нескольких километров ВТСП-проводника $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$; за его разработку и изготовление берется Институт им.А.А.Бочвара. Финансирование этой части работ осуществляет Министерство атомной промышленности. В рамках финансирования планируется создание экспериментальной технологической линии³ производительностью до 20 км ВТСП-ленты в год. Требования к проводу — обеспечение 40–60 кА при толщине ленты 0.2 мм и ширине от 3 до 8 мм.

РАО ЕЭС — не единственный промышленный заказчик на ВТСП-устройства. Сейчас ведутся переговоры с РАО «Норильский никель». В технологических циклах этого промышленного гиганта широко применяются электролитические процессы — электролиз меди, никеля, требующие больших токов. Необходимо передавать большие токи от подстанции к заводу, а также внутри завода — к цехам, гальваническим ваннам. Обсуждение с представителями «Норильского никеля» выявило три возможных эффективных направления внедрения ВТСП — локальные линии электропередачи, ограничители токов, токоподводы к электроплавильным печам. Удачное совпадение: «Норильский никель» использует в своем технологическом цикле низкие температуры, на нем есть производство, в частности, жидкого кислорода.

© С.Т.Корецкая
Москва

Зоология

Летучие мыши — охотники на птиц

Каждый год миллионы перелетных птиц отправляются в теплые края. Летят они и по ночам. Конечно, подобный «поток еды» не может не привлекать многочисленных хищников — в первую

очередь тех же пернатых. Некоторые соколы в период миграций полностью переключаются на летящие стаи. Но хищные птицы активны главным образом днем. Удивительно, что ночные хищники, «нацеленные» на перелетных птиц, долгое время не были известны. Между тем по ночам хищников бывает в воздухе полно — это летучие мыши, но они охотятся преимущественно на насекомых. Известно, однако, несколько экзотических исключений, когда крупные тропические летучие мыши «прихватывали» птиц — причем отдыхающих, а не летящих.

И вот в последние годы прошлого века группа испанских ученых обнаружила, что по крайней мере для одного вида летучих мышей охота на птиц — норма. Причем живут эти мыши не где-нибудь в недоступных джунглях, а в Средиземноморье. В 1998—2000 гг. исследователи собрали в садах Андалусии (юг Испании) более 14 тыс. фекальных пеллет гигантской вечерницы *Nyctalis lasiopterus* (одного из наиболее плохо изученных видов млекопитающих Европы). Работы велись с мая по октябрь. Материал получали двумя путями: во-первых, собирали под деревьями, на которых обосновались колонии летучих мышей, во-вторых, ловили хищниц сетями и содержали в неволе в течение суток, ожидая опорожнения кишечника, после чего отпускали.

Конечно, в фекалиях круглый год наличествовали фрагменты съеденных мышами насекомых, но в период птичьих перелетов содержание остатков птиц в фекалиях доходило до 70% (в другие месяцы падало до 1%). Присутствие птичьих остатков по времени четко совпадало с пролетом мелких воробьиных. Судя по морфологии крыльев, приспособленных для быстрого, но относительно маломаневренного полета в открытых пространствах, *N.lasiopterus* добывали птиц на лету (а не вылавливали, скажем, в древесных ветвях). Подтверждением тому служат и акустические характеристики эхосигналов ги-

² <http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/p112/index.htm>

³ <http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/p113/index.htm>

гантской вечерницы (пик возле 19 кГц), типичные для видов летучих мышей, обнаруживающих добычу издали. Исследователи отмечают, что сигнал такой частоты совершенно неслышим для птиц и не может предупредить их об опасности. Интересно, что ни одну из пойманных вечерниц не видели с ее добычей и остатков птиц не находили под деревьями с колониями мышей. Зато в районе, где активно летающих мышей ловили сетью, на земле было обнаружено несколько свежих крылышек воробьиных птиц. Таким образом, вечерницы *N.lasiopterus* поедают свою добычу в полете, подобно насекомоядным летучим мышам.

Гигантские вечерницы — самые крупные летучие мыши Европы, их вес достигает 48 г, а размах крыльев — 45 см. Очевидно, переключение питания с крупных летающих насекомых на мелких летающих птиц не потребовало от них ни морфологических адаптаций, ни изменений эко-сигнала или стратегии охоты. Одни ли они пошли по этому пути, или на перелетных птиц охотятся и другие летучие мыши, берущие добычу в воздухе в других частях света, еще предстоит выяснить.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2001. V.98. №17. P.9465–10022 (США).

Зоология. Этология

Удрать от опасности на попугае моллюске

Работая в Дальневосточном морском заповеднике, что в заливе Петра Великого, А.В.Озолиньш (Институт биологии моря ДВО РАН, Владивосток) и Е.К.Куприянова (биологический факультет Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, ныне — в Университете Флиндерса, Аделаида, Австралия) заметили, что на раковинах живых приморских гребешков *Patinopecten yessoensis* — тех самых, у которых такой вкусный мускул, — всегда поселяется гораздо больше водо-

рослей, чем на окружающем дне¹. Иногда гребешок выглядит, как яркий оазис на однообразном фоне песчаного дна!

У гребешка одна створка выпуклая и белого цвета, на ней он лежит на грунте, а другая — плоская, ярко окрашенная (обычно фиолетовая) и обращена кверху, вот именно на ней водоросли и селятся. Гребешок способен плавать. Если к нему приблизится морская звезда, краб или хищная рыба, он вспархивает со дна и проплывает несколько метров, сильно хлопая створками. Вода выдавливается через два отверстия под «ушками» на верхнем крае раковины, а сам моллюск получает реактивный толчок и летит в воде выгнутым нижним краем створки вперед.

Озолиньш и Куприянова предположили: водоросли оказывают предпочтение гребешкам потому, что на неподвижных донных предметах их выедают растительоядные морские ежи — черные *Strongylocentrotus nudus* и серые *S.intermedius*, во множестве населяющие воды заповедника, а гребешок реагирует на приближение безвредного для него морского ежа так же, как на опасную морскую звезду или протянутую к нему руку — «отпрыгивает».

На мелководье у о.Фуругельма исследователи соорудили восемь загоронок 120×50×50 см³, затащили их сеткой и посадили в каждую по два живых гребешка (очищенных от водорослей с помощью наждачной бумаги), а также положили две пустые их створки и круглый камень размером с гребешок. Рядом, вне загоронок, поместили 20 меченых живых гребешков, 16 пустых створок и десяток камней. Через три месяца количество водорослей на живых гребешках, пустых створках и камнях в загородках оказалось одинаковым; таким же оно было на живых гребешках в доступном для морских ежей, не огороженном месте. Зато на пустых створках и камнях вне загоронок водорослей было в несколько раз

¹ Ozolinsb AV, Kupriyanova EK. // J. Mar. Biol. Assoc. UK. 2000. V.80. №4. P.743–744.

меньше, чем в загородках. Значит, действительно морские ежи поедают водоросли только на неподвижных предметах, на живых же гребешках они им недоступны.

Представьте себе: только морской еж нацелился на вкусную водоросль, как вдруг она убегает от него прыжками. Медлительному колючему созданию и не понять, куда она могла подеваться! А для водоросли гребешок — прекрасное подвижное «убежище». Авторы назвали это явление «hitch-hiking», т.е. «ловля попутки». Прожорливые морские ежи способны нацело уничтожить водоросли на большом пространстве. Но если их давление на водоросли прекратится на какое-то время — каланы ли их выели, люди ли выловили для икры или просто погода в период размножения оказалась для ежей неблагоприятной, — запас водорослей, уцелевших на подвижных «убежищах», позволит их популяциям быстро восстановить численность.

© К.Н.Несис,
доктор биологических наук
Москва

Геотектоника

Открытие новой литосферной плиты

Тектонические процессы, происходившие в раннемеловое время (приблизительно 145—100 млн лет назад) вдоль окраины суперматерика Гондвана, сыграли существенную роль в формировании континентальной коры, подстилающей ныне Антарктиду, Австралию и Новую Зеландию. Несмотря на то что тектонике литосферных плит мелового времени посвящено немало исследований, их геометрия и траектория движения в данном регионе изучены совершенно недостаточно. Это объясняется тем обстоятельством, что формировавшаяся здесь океанская кора либо с тех пор была субдуцирована и переработана, либо, возможно, расположена сейчас в районе к северо-востоку от Новой Зеландии, который практически не исследовался.

Полученные в 91-м рейсе бурового судна «Гломар Челленджер» данные позволяют в какой-то мере восполнить этот пробел. Рейс проводился в рамках Проекта глубоководного бурения (Deep Sea Drilling Project) в юго-западной части Тихого океана, к востоку от конвергентной границы между Тихоокеанской и Австралийской плитами. Пробуренные здесь скважины 595 и 596 вскрыли относительно маломощный осадочный разрез (около 70 м) и вошли в базальтовый фундамент.

Добытый в 91-м рейсе керн ныне исследовали Р.Сазерленд и К.Холлис (Институт геологических и ядерных исследований, Новая Зеландия), особое внимание они уделили изучению содержащихся в осадках микроорганических остатков и анализу палеомагнитных данных¹.

Как оказалось, осадки, непосредственно перекрывающие базальты фундамента, имеют неожиданно древний возраст. Так, радиоляриевые ассоциации из скважины 595 указывают на позднеберриасский—валанжинский возраст базальных осадков (около 144—132 млн лет назад). В скважине 596 базальные слои, вероятно, моложе, поскольку хорошо сохранившаяся ассоциация радиолярий с глубины около 69 м датирует осадки сеноманом (99—94 млн лет назад). Более того, установлено, что раннемеловое сообщество радиолярий характеризуется необычными экологическими особенностями; они указывают на принадлежность этого сообщества высокоширотной, так называемой Циркум-Антарктической холодноводной провинции, которая окружала в то время Антарктиду, Австралию и Новую Зеландию, составлявших единый материк.

Геологические, палеонтологические и палеомагнитные материалы говорят о том, что кора в данном регионе формировалась приблизительно на 63° ю.ш., т.е. значительно южнее палеоширотного положения одновозрастной Тихоокеанской плиты (выше 40° ю.ш.).

¹ Sutherland R., Hollis Ch. // Geology. 2001. V.29. №3. P.279—282.



Положение скважин глубоководного бурения в 91-м рейсе «Гломар Челленджера». Линией с зубцами показана зона субдукции, маркирующая границу между Австралийской и Тихоокеанской литосферными плитами, и направление ее погружения.

Таким образом, разница между палеоширотой района скважины 595, которая предполагалась на основании теоретических плит-тектонических построений, и установленной по материалам рейса, составляет 23°. Это означает, что в раннемеловое время здесь существовал дополнительный спрединговый (связанный с растяжением) хребет, отделявший исчезнувшую впоследствии плиту Феникс от гипотетической, ранее неизвестной плиты, которую авторы предлагают назвать плитой Моа. На протяжении всего раннего мела эта плита смещалась по тектоническому разлому (сдвигу), который, как предполагается, протягивался вдоль окраины суперматерика Гондвана. Учитывая разницу в теоретической и установленной палеоширотах, это смещение должно было составить не менее 2500 км. В течение позднего мела плита Моа большей своей частью погрузилась под окраину Гондваны в районе будущей Новой Зеландии. Оставшаяся часть плиты была трансформирована в микроплиты Алул (восточный сегмент) и Хикуранги (западный сегмент).

© И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук
Москва

Археология

Эпохальные находки в Московском Кремле

Археологи музеев Кремля с большим вниманием «сопровождали» земляные работы возле Архангельского собора, на южной оконечности древней Соборной площади. Этот участок крепости, в том числе и территория храма-усыпальницы, изучен историками достаточно хорошо. Кроме отложений средневекового периода здесь еще 35 лет назад были найдены следы поселения 1-го тысячелетия до н.э., или раннего железного века. С тех пор почти в каждом шурфе (небольшом глубоком раскопе), отрытом возле стен Архангельского собора, наряду с черепками посуды древнерусского времени находили по нескольку обломков керамики дьяковской культуры (середина 1-го тысячелетия до н.э.). И поэтому летом 2000 г. такие находки уже никого не удивили. Но, как оказалось, археологов впереди ждала редкая удача — встреча с эпохой бронзы, еще более древней культурой.

Это был обломок каменного боевого топора фатьяновцев — людей, живших в конце 2-го тыся-



Западный фасад Архангельского собора. При строительстве храма в 1505—1508 гг. древние наслоения Боровицкого холма на Соборной площади были значительно нарушены, что не помешало археологам обнаружить здесь интересные находки, принадлежащие разным эпохам.



Железный ключ от навесного замка из слоя XIII в. (размер около 10 см).

четлетия до н.э. Именно в те далекие времена территория, на которой стоит ныне величественная крепость Москвы, была впервые освоена людьми. Фатьяновцы разводили домашних животных, занимались охотой и рыболовством: покрытые густыми лесами холмы и богатые рыбой реки создавали идеальные условия для такой жизни.

Как считают исследователи, на Боровицком холме Москвы фатьяновцы оставили могильник, в мужские захоронения которого они обязательно помещали каменные топоры — вещь, по их представлениям, совершенно необходимую в загробной жизни. Этим и объясняется тот факт, что на территории Кремля это уже

четвертая подобная находка. Все они обнаружены в слоях средневекового периода, куда изделия эпохи бронзы попали в результате перекопов земли при строительстве кремлевских дворцов и храмов на верхней террасе Боровицкого холма. Топор, обломок которого нашли в траншее у Архангельского собора, изготовлен из долерита — вулканической породы, попавшей в московский регион из района Карелии в периоды оледенения. Долерит достаточно мягок и хорошо поддается обработке, что великолепно демонстрируют нам люди эпохи бронзы. Топор так аккуратно просверлен (сохранилась часть проушины) и заглажен снаружи, что с трудом верится в его изготовление

в столь давние времена. Но фатьяновцы покинули эти места, и люди вновь появились здесь только спустя тысячу лет.

Слои поселения дьяковцев на Боровицком холме (VIII—III вв. до н.э.), как правило, бедны находками. И все же наблюдения в ходе строительных работ на территории Кремля в 2000 г. позволили обнаружить вместе с московской керамикой XIII—XV вв. и два обломка посуды, принадлежащей дьяковцам. Это фрагменты грубых, ручной формовки горшков, с неровной шероховатой поверхностью, что, впрочем, сохраняет определенный аромат древности. Кроме этих обломков, очажных камней и углей больше ничего нет. Но современная наука умеет «вопрошать» угли, и по ним уже определены породы деревьев, сгоревших в древних кострах, — в основном широколиственные. Новые данные позволяют уточнить ландшафт высокого мыса над Москвой-рекой, а значит, полнее представить жизнь людей того далекого времени. Но и дьяковцы, оставив нам предметы своего быта, покинули лесистые холмы над рекой. Лишь в XII в. здесь будет основан город, ставший со временем столицей России.

Сама же Москва XIII—XV вв. оказалась представленной в траншеях возле Архангельского собора только обломками глиняной посуды и полностью сохранившимся железным ключом от навесного замка. Городские наслоения в районе Соборной площади никогда не были большими по толщине. К тому же в 1913 г. уровень Соборной площади был понижен на 1 м, дабы освободить цоколи кремлевских соборов от выросшей рядом с ними земли. В итоге современным исследователям в этой части древней крепости достаются для изучения далеко не самые мощные напластования средневекового города. Но и они полны неожиданностей и приносят историкам важную информацию к размышлениям.

© Т.Д.Панова,
кандидат исторических наук
Москва

Скучно без Сахарова

Б.Л.Альтшулер,

кандидат физико-математических наук
Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
Москва

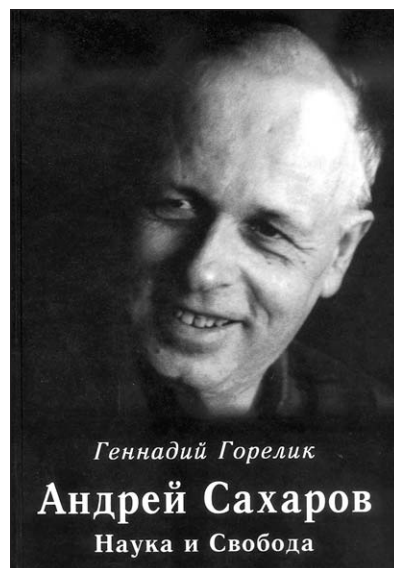
Главное впечатление от книги — мне было интересно ее читать. Это стало приятной неожиданностью, поскольку я искушенный читатель: знал Андрея Дмитриевича более 20 лет, с 1968 по 1989 г., регулярно с ним разговаривал на разные темы. После его смерти немало написал о нем, еще больше прочитал, участвовал в подготовке к изданию его научных трудов [1], воспоминаний о нем коллег-физиков [2] и т.п. И все-таки я читал эту книгу с интересом по двум причинам: во-первых, она дает объемную историческую картину эпохи и, во-вторых, многое объясняет «про Сахарова».

Важность первого очевидна: то, что в «Воспоминаниях» [3] самого Андрея Дмитриевича, в мемуарной литературе упоминается как само собой разумеющееся — имена, исторические события и т.п., — нуждается в разъяснении; тем более это важно для широкого читателя, на которого, по-видимому, рассчитывал автор. В этом смысле книга может служить своего рода путеводителем.

Что касается «объяснения Сахарова», то необходимость этого была очевидна и при его жизни (он и сам всегда старался прояснить свои позиции и де-

лал это с поистине педагогической настойчивостью), и тем более возросла после смерти. Занимался этим и я — устно и письменно (см. в разных изданиях мои статьи: «О Сахарове» [4], «Как его не понимали» [5], «Научный метод А.Д.Сахарова» [6], «Ной Хау» [2], «Эволюция взглядов Сахарова на глобальные угрозы советского ВПК...» [7] и т.п.). Но при этом всегда оставалось чувство, что цель не достигнута. Слишком «перпендикулярно» привычным представлениям он мыслил и действовал. Об этом очень точно, уже после смерти Андрея Дмитриевича, высказался один коллега из отдела теоретической физики ФИАНа, мой ровесник: «Скучно без Сахарова. Бывало, скажет что-нибудь, и все внутри протестует и возмущается. А через какое-то время смотришь — верно было сказано и вовремя. Ломал стереотипы».

Автору во многом удалось проникнуть в самую суть, избежать штампов, снова и снова «убивающих» живую, неповторимую и столь нетривиальную личность. Как ему это удалось? Ведь он не знал Андрея Дмитриевича лично. Наверное, всему «виной» историческая случайность. Несколько лет назад судьба свела в одной географической точке (Бостон, США), сделала соседями автора книги, Елену



Геннадий Горелик
Андрей Сахаров
Наука и Свобода

Геннадий Горелик.
АНДРЕЙ САХАРОВ. НАУКА
И СВОБОДА.

Москва; Ижевск, 2000. 505 с.

© Б.Л.Альтшулер

Георгиевну Боннэр и Марию Гавриловну Петренко-Подъяпольскую. Я не умаляю ценности собранной автором (с 1989 г.) уникальной коллекции устных рассказов и бесед с другими живущими в разных частях света и знавшими Сахарова людьми. Но целевое интервью — это, очевидно, еще совсем не то, что возможность в любой момент зайти, посоветоваться, показать написанное, выслушать пристрастную критику или поговорить во время неспешных совместных прогулок. Лично я в период создания книги общался с ее автором, в основном, по электронной почте, правда, не часто и не регулярно. Но могу свидетельствовать: Горелик очень быстро преодолел некоторые ходячие представления и сумел увидеть живого Сахарова во всей его гениальной (совсем, однако, не простой) простоте.

Разумеется, автор воспользовался и «Воспоминаниями» самого Сахарова, и множеством других источников (в книге 618 библиографических ссылок; особо следует отметить проведенное Е.Г.Боннэр исследование родословной Сахарова [8]). Автор использовал свои многочисленные архивные исследования, в том числе в Архиве КГБ СССР. Несомненной удачей стало обнаружение стенограммы собрания в ФИАНе в апреле 1937 г. (с последующим опросом живых участников события) или секретного письма Сахарова от июля 1967 г. руководству СССР об опасности развертывания системы стратегической противоракетной обороны (ПРО — как актуально звучит эта аббревиатура сегодня!). Именно отсутствие какой-либо реакции на это обращение побудило Андрея Дмитриевича написать свои знаменитые «Размышления...» и запустить их в самиздат с очевидным ожиданием последующей публикации за рубежом. («Я решил обратиться к тем, кто меня слушает», — так пояснил Сахаров Л.В.Альтшулеру — своему коллеге по атомному проекту и моему отцу —

этот свой столь неординарный для советского человека, а для сверхсекретного ядерного физика в особенности, шаг.)

Остановлюсь подробнее на картине эпохи, представленной в книге, и на «объяснении Сахарова».

Первая часть «Из царской России в царство советской физики» уже одним названием («царство советской физики») показывает ограниченность популярного теперь исторического взгляда, однозначно негативного в отношении всего, что случилось в нашей стране после 17-го года. Книга исторична, автор дает возможность читателю взглянуть на эпоху не из современного «прекрасного далека», а глазами участников событий и живых свидетелей. Следует отметить в этой связи умеренное, но точное цитирование. И то, что казалось далеким, неожиданно становится близким и актуальным.

История семьи Сахарова влется в эпоху. «Знакомым мне был писатель Боборыкин, который ввел само слово *интеллигенция*» (с.41), дед Сахарова переписывался с Короленко, участвовал в выпуске сборника «Против смертной казни», в котором был опубликован также и рассказ Льва Толстого «Божеское и человеческое», Александр Гольденвейзер, муж старшей сестры матери Сахарова и крестный его отец, близко знал Толстого, написал в 1923 г. о нем книгу. «Поэтому, когда Андрей читал в детстве Толстого — *«с обсуждением почти каждой страницы с бабушкой»* и видел в бабушкиной комнате его статуэтку, для него это был не просто великий русский писатель» (с.41, здесь курсивом автор выделяет слова самого Сахарова). Отец Сахарова занимался в лаборатории П.Н.Лебедева (именем которого назван ФИАН) вплоть до его ухода из Московского университета. Книга кратко прослеживает цепочку драматических событий: смерть Толстого, повлекшая студенчес-

кие беспорядки в университете, расправа властей, в том числе с руководством университета, добровольная подача в отставку Лебедева и многих других преподавателей, не пожелавших предать коллег. Лебедев был очень далек от политики, крайне скептически относился к любой общественной деятельности в России, был всецело предан науке, но тут выбора не было — закон чести. Своей отставки и закрытия лаборатории Лебедев не пережил и только поэтому не стал лауреатом Нобелевской премии по физике 1912 г.

Говоря о советском времени, автор не обходит вниманием один из самых удивительных парадоксов эпохи небывалого террора и бедствий народных — сопутствующий ей социальный оптимизм, которым «страдали» многие лучшие и честные, бывший основой мировоззрения самого Сахарова вплоть до новых времен, когда он осознал советское государство как «раковую клетку» [3, т.1, гл.11, с.230*]. Чрезвычайно интересно рассказана история возникновения советской физики. Высокое служение науке на фоне почти постоянного погрома — в широком смысле этого слова. Это главы «Пир во время чумы?», «Хаос и логика чумы», «Российская физика в разгар космополитизма», «Ядерное оружие в мирных целях» — невероятная история о том, как бомба спасла советскую физику от «лысенкования». На страницах книги оживают имена Георгия Гамова, Льва Ландау, Бориса Гессена, Григория Ландсберга, Сергея Вавилова, Игоря Курчатова, Виталия Хлопина, Михаила Леонтовича и, конечно, Леонида Исааковича Мандельштама, «старомодная мораль» которого определила этические нормы школы Мандельштама, сформировавшей, через Игоря Тамма, и молодого Сахарова: «Можно позавидовать аспиранту, рядом с которым были столь нормальные люди, несмотря на

* Здесь и далее цитируется издание 1996 г.

всю ненормальность жизни общества» (с.139).

Особый сюжет — близкое знакомство во время эвакуации в Казахстан таких уникальных людей, как Мандельштам, Вернадский (его «ноосферной философии» посвящена отдельная глава) и А.Н.Крылов («дореволюционный академик и царский генерал, математик и кораблестроитель, переводчик Ньютона с латыни и знаток боцманского диалекта русского языка» — с.109, 156). Почти детективная история «вхождения в проблему» самого автора книги. Заинтересовавшие Горелика как историка физики провидческие работы по квантовой гравитации расстрелянного в 1938 г. Матвея Бронштейна привели его в октябре 1980 г. в квартиру вдовы Бронштейна — Лидии Корнеевны Чуковской. Чуковская и Сахаров были связаны правозащитной деятельностью, а проблемой совмещения квантовой теории и гравитации Сахаров также очень интересовался (от идеи квантово-индуцированной гравитации 1967 г. до выполненной в ссылке в 1984 г. работы «Космологические переходы с изменением сигнатуры метрики»). Итак, все постепенно сошлось, и спустя 20 лет появилась эта книга.

Вторая и третья главы — о ядерной и термоядерной энергии, ядерном архипелаге СССР и о многом другом: изделии и сверхизделии, мирном термояде, нравственных муках Ландау и Леонтовича, обрезании младенца в сверхсекретном ядерном центре в конце 1950 г. в разгар государственной антисемитской кампании и что из этого вышло. Затем — «от военной физики к мирной космологии», превращение физика-ядерщика в правозащитника, А.Ф.Иоффе, П.Л.Капица, И.В.Курчатова, И.Е.Тамма, В.Л.Гинзбург, Ю.Б.Харитон, Я.Б.Зельдович и другие, а также американские ученые, из высоко идейных соображений передававшие советской разведке атомные секреты своей страны. Тема

«разведка и физика» и в целом сопоставление атомных программ СССР и США существенно опираются на многочисленные личные беседы автора с участниками советского и американского атомных проектов, включая отца американской водородной бомбы Эдварда Теллера, «каннибала Теллера», как его величала советская пропаганда. (Когда в самом начале перестройки приехавший в США российский физик сказал Теллеру, кто он есть на самом деле, тот очень развеселился: «Я немедленно расскажу это своим студентам», — сказал он.) Особого внимания заслуживает остающаяся пока во многом загадочной история, как 7 января 1953 г. знаменитый американский физик Джон Уилер потерял сверхсекретный документ, касающийся конструкции водородной бомбы (с.227). Долгое время на Западе считали, что советская водородная бомба была скопирована с американской благодаря именно этой утке. Однако американские архивные свидетельства, открывшиеся недавно, такой вариант исключают (как оказалось, Уилер вез в поезде два документа: содержательный доклад и сопроводительное письмо, а потерял только письмо). Об этом и многом другом узнает читатель из книги Горелика.

Есть в ней и небольшие неточности. На строительстве объектов ядерного архипелага использовались, насколько мне известно, только уголовники, считавшиеся «социально близкими», так что вряд ли Курчатова мог там увидеть «кого-нибудь из своих знакомых “исчезнувших” в 37-м году» (с.144). В спасении моего отца, неразумно сказавшего в 1951 г. все, что он думает о Лысенко, комиссии, которая приехала на объект для проверки уровня политвоспитания руководящих кадров, принимал участие не только Сахаров, но и В.А.Цукерман, Е.И.Забахин и Ю.Б.Харитон. Историческая неточность фразы «спасло его только заступничество Са-

харова» (с.255) в том, что до успешного испытания водородной бомбы в 53-м Сахаров никаким особым авторитетом у властей не пользовался, а историческая правда о Сахарове в том, что, будучи кандидатом наук, ничем особо не защищенным, он пошел к начальству заступаться за политически неблагонадежного коллегу.

Знание эпохи необходимо для понимания Сахарова, в том числе его «аномального» чувства личной ответственности, «корни которой, разумеется, тянутся к семье, в которой он родился, и к «научной семье», в которой он формировался, и, тем самым, к наследию русской интеллигенции» (с.276). «Чудом... в сонмище подкупной, продажной, беспринципной технической интеллигенции» назвал Сахарова Александр Солженицын. Сказал — припечатал всех. Скучно возражать Солженицыну, но надо. Приятно, что Горелик берет на себя этот благодарный труд (с.425—431). Попытке «объяснить» Сахарова в основном посвящена последняя, четвертая, глава «Гуманитарный физик в обстоятельствах ядерного века»: Солженицын и Сахаров (в первом преобладает «идеология», второй считает любую идеологию угрозой стране и миру и настаивает на универсальности соблюдения прав человека), «вина» Елены Боннэр, непопятые многими, а по-человечески так понятные голодовки во спасение близких (с.424), ахматовское «невнятное гудение» как постоянное состояние Сахарова, всегда размышлявшего о своем, о физике параллельно с видимым ходом событий, его ощущение собственной неэлитарности, интерес к проблеме, а не к спору о ней, «сахаровское простодушие» и «презумпция полной невиновности любого человека, с которым его сводила судьба, или презумпция порядочности», «подчинение [своих действий] научной интуиции и интуиции моральной» (с.443). Весьма деликатному, «интимно-

му и личному» (как говорил Андрей Дмитриевич) вопросу: «Верите ли вы в Бога?» — посвящен последний раздел «Смысл судьбы и смысл истории».

Для демонстрации того, как непросто было понимать Сахарова, приведу один пример, подробно разбираемый в разделе «Андрей Сахаров против Эдварда Теллера». Остановлюсь на этом еще и потому, что приведенные в книге совершенно замечательные объяснения кажутся мне все-таки недостаточными. Речь идет об отдаленных последствиях радиационного заражения природной среды при ядерных испытаниях в атмосфере. В 1957 г. Курчатов предложил Сахарову провести расчеты, доказывающие несостоятельность американской идеи «чистой» бомбы. Сахаров показал, что атмосферные испытания даже самых «чистых» термоядерных зарядов обрекают на гибель от рака примерно 60 человек в год в течение последующих 8 тыс. лет — для всего человечества цифра очевидно ничтожная. В своей книге 1958 г. — ответе западным гуманистам А.Швейцеру и Л.Полингу — прагматичный Теллер именно об этом и пишет. Для Сахарова, однако, неприемлемо мыслить здесь категориями статистики. И он со всей страстью выступает против испытаний, терпит неудачи («это уже было окончательное поражение, ужасное преступление совершилось, и я не смог его предотвратить! Чувство бессилия, нестерпимой горечи, стыда и унижения охватило меня. Я упал лицом на стол и заплакал» [3, гл.16]), а в результате благодаря его инициативе заключается Московский договор 1963 г. о запрете испытаний в трех средах.

Горелик наглядно объясняет чисто нравственную позицию личной ответственности за гибель неведомого жителя далекого будущего, которая случится из-за наших непродуманных действий сегодня. Да, все, казалось бы, убедительно. Но не

убеждает. И все-таки оставляет впечатление какого-то юродства. Хотя бы потому, что рак могут научиться лечить, и это полностью снимет проблему. И произойти это может не через тысячи важных для расчетов Сахарова лет, а гораздо раньше. Сахаров не мог этого не понимать. А значит, мы опять не поняли его. Говоря о долгосрочной, очень долгосрочной опасности ядерных испытаний, Сахаров действовал в совершенно конкретной исторической ситуации и преследовал, как и Курчатов, вполне определенную политическую цель: постараться убедить руководителей ядерных сверхдержав, что ядерное оружие — это серьезная тотальная угроза для всех, что надо кончать с конфронтацией и как-то договариваться. А как же рассуждения о чьей-то гибели через тысячи лет — это что: ловкий прием, «военная хитрость» специально для московских или вашингтонских политических олимпийцев, которые в своем надмирном величии других слов вообще не слышат? Нет, конечно, Сахаров не хитрил. Много лет спустя он пишет с полной убежденностью в своей правоте: «Еще в 50-е годы сложившаяся у меня точка зрения на ядерные испытания в атмосфере как на прямое преступление против человечества, ничем не отличающееся, скажем, от тайного выливания культуры болезнетворных микробов в городской водопровод, — не встречала никакой поддержки у окружающих меня людей» [3, гл.16, с.314].

Аналогичные вопросы (хотя и не в такой крайне парадоксальной постановке, как с малыми дозами радиации) возникали и в отношении его мучительных голодовок. В данном случае по крайней мере он заступался не за абстрактных дальних потомков, а за родных и близких. Но все равно было колоссальное непонимание — как нравственного, так и прагматического смысла его действий. Однако и прагматический смысл здесь

совершенно ясен: Сахаров не давал Западу расслабляться, сохраняя такой уровень давления на СССР, благодаря которому собственно и оказался возможным приход к власти Горбачева, объявившего перестройку. Как пишет израильский физик Гарри Липкин: «Тактика Сахарова продемонстрировала глубокое понимание не только того, как работает советская система, но и психологию средств массовой информации на Западе» [2]. После возвращения Сахарова из ссылки я спросил, знает ли он, какое огромное политическое значение имели его страшные голодовки; он ответил, что, конечно, знает. Значит, не юродивый, а, напротив, расчетливый, целеустремленный политик, для которого «все на продажу»? Оба штампа бесконечно далеки от истины.

Трудно понимаемая «аномалия Сахарова» в том, что нравственные мотивы были для него реальной осязаемой «реальностью», и он старался «навязать» этот подход политикам и миру. Я бы сказал так: Сахаров не только сознавал, что бытие в своей основе глубоко иррационально, но и сам являл собой эту иррациональную основу. Поэтому и плакал над ребенком, который, возможно, умрет через 1000 лет из-за его, Сахарова, сегодняшней неудачи в попытке предотвратить эту гибель, а гипотетические надежды на развитие медицины совсем утешить никак не могут, так как «важно только то, что уже произошло» (Сахаров); поэтому он и знал, что будущего не существует даже в понятиях, а оно творится ежесекундно нашими движениями души «в нашем бесконечно сложном взаимодействии». Недаром Зельдович сказал: «Мой мозг — это компьютер, который работает в несколько раз быстрее обычного, мозг Сахарова — иначе устроен». Нравственные мотивы в сущности иррациональны, поэтому они никогда не принимались в расчет вполне рациональной реальной

политикой — со всеми вытекающими трагическими для человечества последствиями. Сахаров, другие советские «иррациональные» правозащитники сделали невозможное — сумели вернуть мировую политику, заставить ее мыслить категориями нравственных ценностей, категориями прав человека. И это изменило лицо мира. Роль Сахарова, который был к тому же еще и гениальным инженером-конструктором, тактиком и стратегом, в достижении этой цели переоценить невозможно. Он сумел материализовать идею о «слезе ребенка». Читатель книги Горелика несомненно это почувствует и этим проникнется.

В книге много о физике — популярно, для непосвященных. И действительно, автор многое объясняет: про открытое Лебедевым давление света, играющее ключевую роль в поджиге водородной бомбы атомным запалом, про «слодку» Сахарова и LiДочку Гинзбурга, про квантовую упругость пустоты и предложенное Сахаровым объяснение барионной асимметрии Вселенной (летом сего года был осуществлен эксперимент, подтверждающий эту теорию Сахарова, — см. Постскриптум). «*Сто загадок — одна отгадка*», — эту общую формулу научного триумфа Сахаров записал, демонстрируя свою способность зеркального письма. Ее Горелик дополняет другой общей формулой научного прогресса: «*В сердце-вине отгадки — сто новых загадок*» (с.120—121). Физика — это азарт, вдохновение, подобно музыке или поэзии. «*В красивую теорию можно влюбиться, как в красивую женщину*», — говорил Игорь Тамм (с.123). Однако физика, как и поэзия, науки точные — требуют точного цитирования и точного написания формул. К сожалению, на с.20, по-видимому по техническим причинам, в формулах для давления вместо знака пропорциональности стоит знак равенства. Равенство было бы верно для

импульса, а давление есть импульс, переданный в единицу времени на единицу площади, т.е. оно не равно, а лишь пропорционально импульсу. На с.223 аналогичная формула написана верно. Надо думать, что при переиздании такие недочеты будут исправлены.

Наверно, не так просто быть гидом по столь динамичной «планете», как Андрей Дмитриевич Сахаров. Пospoрю с тремя тезисами автора:

(1) С.410: «Если бы Академик знал, через какую узкую щелку власть смотрит на его открытую правозащитную деятельность и в каких узких рамках руководители страны подходят “к вопросу о Сахарове”...». Уверен, что Академик знал и понимал про эту власть то, до чего современные историки пока еще не докопались. Читателей книги Горелика следует заранее предупредить, что эта замечательная книга не охватывает и не претендует на охват периода активной общественной правозащитной деятельности Сахарова. Именно поэтому, например, представляются несколько скоропалительными комментарии автора к приводимым на с.411 словам Л.И.Брежнева на заседании Политбюро ЦК КПСС 17 сентября 1973 г.: «*Это не только антигосударственный и антисоветский, но это просто какой-то троцкистский поступок*». О каком поступке речь — не сказано. Но ведь известно, что Брежневу тогда было отчего расстраиваться: достаточно почитать интервью Сахарова 23 августа 1973 г., где он впервые сделал совершенно немислимые (в терминологии Брежнева «троцкистские») заявления о предельной милитаризации СССР, о военной угрозе Западу и т.п.; а может быть, Брежнев так откомментировал обращение Сахарова к Конгрессу США в поддержку поправки Джексона 14 сентября 1973 г. [9]. Приведенные в книге слова Брежнева, по-моему, отражают скорее растерянность человека,

который не хотел давать Сахарова в обиду, а тот своим поведением очень осложнял эту задачу. К такой интерпретации есть основания. «Кампания писем в прессе внезапно прекратилась 8 или 9 сентября...», — вспоминает Сахаров [3, гл.13, с.557]. А я хорошо помню, что невиданная травля в газетах действительно резко оборвалась на следующий день после возвращения Брежнева в Москву из Ялты; и тогда же партийные люди рассказывали, что по стране прошла волна закрытых докладов о Сахарове, где о нем говорили в весьма позитивных и сдержанных тонах. (А 18 сентября 73-го года Сахаров подписывает совместное с Максимовым и Галичем заявление в защиту Пабло Неруды, и «сусловских» пропагандистов снова спустили с цепи.) У Брежнева, очевидно, было особое личное отношение к Сахарову. Думаю, что историкам следует это учитывать. «Я помню, что, когда я шел по коридору по направлению к залу, из какого-то бокового коридорчика выскочил, почти выбежал Л.И.Брежнев. Он увидел меня и очень экспансивно приветствовал, схватив обе мои руки своими, тряс их и не выпуская несколько секунд», — вспоминает Сахаров о вручении наград в Кремле в 1962 г. [3, гл.16, с.312].

(2) Далее, на с.411, сказано: «Если бы Сахаров знал, в каком безнадежно замкнутом мире живут руководители страны, ему, наверное, было бы тоскливее». Не уверен насчет тоски, кажется, ему было не до этого. Но он точно знал, как изолированы от реальной действительности наши «олимпийцы», решающие судьбы человечества, от которых зависит и ответ на ключевой вопрос «быть или не быть?». Я много раз обсуждал с Сахаровым проблему «информационного голода» на вершинах власти, которую он считал очень серьезной, ситуацию эту — объективно чрезвычайно опасной, знал, что волею судеб

именно его голос проникал на самый верх и сознавал в связи с этим огромную свою личную ответственность: «Случилось так, что мое имя не принадлежит только мне, и я должен это учитывать», — сказал он как-то в разговоре в конце 70-х.

(3) В предисловии Горелик пишет «Время перелистнуло страницы, подчиняясь замыслу истории» (с.14). Красота высказывания несомненна, но, мне кажется, жизнь героя этой книги доказывает, что у истории (как и в целом у будущего, которое, как не раз повторял Сахаров, «не определено») нет замыслов, снижающих нашу личную ответственность, что творится она каждым из нас, и в первую очередь такими людьми, как Андрей Дмитриевич Сахаров.

Постскриптум

В июле этого года на сайте Станфордского университета появилось сообщение о проведенном на Станфордском линейном ускорителе в Пало-Альто, штат Калифорния, экспери-

менте по столкновению пучков V - и анти- V -мезонов, после аннигиляции которых осталось небольшое количество материи, т.е. V -мезонов. Тем самым найдено экспериментальное основание предложенному Сахаровым в 1967 г. процессу образования избытка вещества над антивеществом на существенно неравновесном этапе эволюции «горячей» Вселенной, первоначально находившейся в зарядово-симметричном состоянии [10]. Эксперимент осуществлен группой из более чем 600 исследователей из 73 научных институтов Канады, Китая, Франции, Германии, Великобритании, Италии, Норвегии, России и США. Детектор BABAR весом 1200 т регистрировал рождение и последующую аннигиляцию мезонов и антимезонов. Эксперимент подтвердил существование слабого нарушения так называемой комбинированной CP -четности, т.е. асимметрию материи и антиматерии для V -мезонов. Нарушение CP -четности, предложенное в 1958 г. С.Окубо, в 1964 г. экспериментально подтвержденное в распадах K -

мезонов и теперь установленное для V -мезонов, является одним из двух базовых предположений, содержащихся в теории Сахарова об образовании барионной асимметрии Вселенной. На подаренном коллеге репринте работы о барионной асимметрии [10] Андрей Дмитриевич написал:

Из эффекта С.Окубо при большой температуре для Вселенной сшита шуба по ее кривой фигуре.

Для объяснения наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной необходимо, однако, подтвердить вторую гипотезу Сахарова — о нарушении закона сохранения барионного заряда. Такие эксперименты проводятся со времени возникновения в конце 70-х Стандартной модели, естественно включающей как нарушение CP -симметрии, так и распад протона. До сих пор они не дали положительно-го результата. Е.Г.Боннэр вспоминает, как Сахаров говорил, что ожидает открытия распада протона в первой пятилетке третьего тысячелетия. ■

Литература

1. Академик А.Д.Сахаров. Научные труды / Ред.: Б.Л.Альтшулер, Л.В.Келдыш, Д.А.Киржниц, В.И.Ритус. М., 1995.
2. Он между нами жил: Воспоминания о Сахарове / Ред.: Б.Л.Альтшулер, Б.М.Болотовский, И.М.Дремин, Л.В.Келдыш, В.Я.Файнберг. М., 1996.
3. Сахаров А.Д. Воспоминания. Нью-Йорк, 1990; М., 1996.
4. Сахаровский сборник / Сост: А.Бабенышев, Р.Лерт, Е.Печуро. Нью-Йорк, 1981. Репринтное издание с приложением «Последние десять лет» (М., 1991).
5. Специальный выпуск, посвященный А.Д.Сахарову / Сост: И.Н.Арутюнян, Н.Д.Морозова (Природа. 1990. №8). Выпуск вышел отдельной книгой: А.Д.Сахаров: Этюды к научному портрету. Глазами коллег и друзей. Вольномыслие (М., 1991).
6. Вопросы истории естествознания и техники. 1993. №3.
7. 30 лет «Размышлений...» Андрея Сахарова: Материалы конференции к 30-летию работы А.Д.Сахарова «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе» (М., 1998).
8. Боннэр Е. Вольные заметки к родословной Андрея Сахарова. М., 1996.
9. Андрей Сахаров. Pro et Contra. 1973 год: Документы, факты, события / Сост.: Г.С.Дозмарова. М., 1991.
10. Сахаров А.Д. Нарушение CP -инвариантности, S -асимметрия и барионная асимметрия Вселенной // Письма в ЖЭТФ. 1967. №5 (1). С.32—35.

Математика. Физика

А.Д.Полянин. СПРАВОЧНИК ПО ЛИНЕЙНЫМ УРАВНЕНИЯМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. М.: Физматлит, 2001. 576 с. (Справочная физико-математическая литература)

Книга содержит решения более 2000 линейных уравнений и задач по математической физике. Рассматриваются нестационарные и стационарные уравнения с постоянными и переменными коэффициентами (параболического, гиперболического и эллиптического типов). Описан ряд новых решений линейных уравнений и краевых задач. Особое внимание уделено уравнениям и задачам общего вида, которые зависят от произвольных функций. Помимо уравнений второго порядка рассматриваются также уравнения более высоких порядков.

Приведены решения задач, встречающихся в различных областях механики, теоретической физики и химической технологии (в теории тепло- и массопереноса, теории волн, акустике, теории упругости, гидродинамике, электростатике, квантовой механике и др.).

Социология. Медицина

А.В.Немцов. АЛКОГОЛЬНАЯ СМЕРТНОСТЬ В РОССИИ: 1980—90-е годы. М.: НИИ психиатрии, 2001. 156 с.

Стародавние питейные привычки в России носили в основном застольный, праздничный характер и были преимущественно мужских. Выпивки женщин и молодежи долго оставались позором. В новейшей истории России доминирует иной стиль потребления, когда пьют и в праздники, и в будни. Это питейное бескультурье носит массовый характер и лишь поверхностно отражает деградацию общества.

Все дореволюционные антиалкогольные кампании или, как их тогда называли, трезвеннические движения (трижды — с 1858 г.) начинались тогда, когда *среднедушевое потребление* достигало 4—5 л/год. За последние десятилетия этот уровень поднялся до 14—15 л/год. Центральным звеном стала антиалкогольная акция 1985 г., однако она привела к резкому росту самогеноварения.

Книга посвящена анализу смертности, связанной с потреблением алкоголя в России на протяжении последних двух десятилетий. Дается оценка полных человеческих потерь страны по этой причине до, во время и после антиалкогольной кампании 1985 г. Поднимается вопрос о скрытом алкогольном уроне и его последствиях, в частности убийствах и самоубийствах.

Антиалкогольная политическая акция, попутно ставшая жестким научным экспериментом, показала, что в России спиртное уносит больше жизней, чем преступность, тоже немалая, чем вместе взятые афганская война и две чеченские кампании.

Работа подготовлена и издана при финансовой поддержке Фонда Макартуров.

Гидродинамика

Т.Е.Фабер. ГИДРОАЭРОДИНАМИКА. Под ред. А.А.Павельева; Пер. с англ. В.В.Коляды. М.: Постмаркет, 2001. 560 с.

Более 350 лет назад Э.Торричелли открыл закон, которому подчиняются струи фонтанов, заложив основы гидродинамики, живой и очень важной ветви физики. Среди исключительно разнообразных и захватывающих явлений, которые эта наука изучает в наши дни, можно назвать, например, солитоны, хаотическое поведение систем с конвекцией и не-

ьютоновские эффекты в растворах полимеров.

Эта книга призвана восполнить пробел в литературе по гидродинамике, связанный с отсутствием подобных изданий на русском языке. В ней изложен широкий круг вопросов, относящихся к механике жидкости. Название книги в оригинале — «Гидродинамика для физиков», но круг ее читателей гораздо шире.

Это основополагающий курс, хорошо зарекомендовавший себя в ведущих университетах развитых стран. Специальное дополнение посвящено физическим принципам расходомерии и технике гидроаэродинамического эксперимента.

Геохимия

Д.В.Гричук. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СУБМАРИННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ. М.: Научный мир, 2000. 304 с.

Развитие современной геологии во многом обусловлено применением нового методологического подхода к исследованиям, который можно назвать модельным.

В 1979—1999 гг. на кафедре геохимии Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова автором проводились исследования, результатом которых стала книга. К моменту начала этих работ термодинамическое моделирование геохимических процессов уже сформировалось как научное направление. Трудными выдающихся исследователей — Р.Гаррелса, Г.Хелгесона, И.К.Карпова, И.Л.Ходаковского, Б.Н.Рыженко и др. были созданы теоретические основы метода, алгоритмы и программы расчета равновесий в многокомпонентных системах.

В книге изложена методика построения термодинамических моделей конвективных гидротермальных систем с экзо-

генным источником растворов. На примере моделей современных гидротерм дна океана показаны возможности метода для интерпретации и прогноза гидротермального рудообразования. С использованием изотопов серы описан метод построения изотопно-химических моделей. Рассмотрена роль кипения в формировании металлонности недр в гидротермальных системах океана.

Тектоника. Геоморфология

А.О.Мазарович. КРАТКИЙ ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ АНГЛО- И РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕРМИНОВ ПО ТЕКТЕНИКЕ И ГЕОМОРФОЛОГИИ ОКЕАНА. М.: Научный мир, 2000. 120 с.

Важность работы с терминологическим аппаратом обусловлена тем, что без единого и всем понятного научного языка невозможно достичь взаимопонимания между специалистами в любых областях.

В словарь включено около 400 англо- и русскоязычных терминов по тектонике океана, формам подводного рельефа и, в меньшей степени, по геологии и технике, а также некоторые основные понятия по тектонике плит и геодинамике переходных зон. Имеется список акронимов, которые часто встречаются в научном обиходе. Он состоит из 200 сокращенных названий организаций, проектов, некоторых терминов, единиц измерений и др. Для облегчения работы с англоязычной литературой по соответствующей тематике к словарю прилагается таблица конвертации основных единиц измерения США в метрическую систему.

При работе широко использовались ресурсы Интернета.

Значительная часть терминов, но без развернутого объяснения, была передана для включения в новый русско-английский геологический словарь.

Геология

А.А.Константиновский. ПАЛЕОРОССЫПИ В ЭВОЛЮЦИИ ОСАДОЧНОЙ ОБОЛОЧКИ КОНТИНЕНТОВ. М.: Научный мир, 2000. 288 с.

С древними конгломератами связаны крупнейшие месторождения золота, урана и других ценных металлов. Помимо практического интереса, они привлекают внимание исследователей в научном плане, поскольку проблема их генезиса связана с накоплением полезных компонентов, источников рудного вещества и алмазов.

Древние россыпи, сформированные на платформах и в подвижных поясах, несмотря на относительную редкость и экзотичность, составляют часть осадочной оболочки континентов, поскольку чутко отражают ее эволюцию от раннего докембрия до фанерозоя. По составу россыпных компонентов выделяются древние россыпи золота и алмазов (которым в работе уделено основное внимание), а также тантало-ниобатов, минералов урана, титана и циркония, нередко сопровождаемых редкоземельными. По богатству золотом стратиморфные месторождения превосходят большинство гидротермальных.

В книге установлена связь эволюции процессов древнего россыпеобразования с общей эволюцией осадконакопления. Выделены главные эпохи формирования палеороссыпей и латеральные ряды рудоносных формаций. Выявлены противоположные тенденции

в росте продуктивности месторождений золота и алмазов, узкий временной диапазон формирования урановых месторождений в конгломератах раннего докембрия. Впервые дан обзор месторождений золота и алмазов в конгломератах на территории России, выделены перспективные регионы.

История науки

ВЛАДИМИР ЯКОВЛЕВИЧ АЛЕКСАНДРОВ: Биолог, мыслитель, боец. Отв. ред. Н.И.Арронет и Д.В.Лебедев; Сост. Н.И.Арронет. СПб.: ООО «Любавич», 2001. 284 с.

Владимир Яковлевич Александров (1906—1995) — крупнейший ученый в области общей биологии и цитологии, эволюционист, теоретик и экспериментатор — был одним из создателей Института цитологии РАН.

Работы самого Владимира Яковлевича, материалы о его борьбе против лысенковской антинауки, биографический очерк, воспоминания коллег и фотоархив — все это вошло в сборник.

Книга задумана его другом и соратником Даниилом Владимировичем Лебедевым. В ней кратко изложены полученные Александровым результаты экспериментальных и теоретических исследований клеточной и макромолекулярной ауторегуляции, механизмов эволюции видов, связанной с изменением температуры среды. В этих областях науки он поставил задачи на десятилетия вперед, указав возможные пути их решения.

Наиболее полно представлена статья о поведении клеток и их компонентов. Александров в сущности заложил новый раздел биологии клетки — цитоэтологию.

«Русский Моцарт»

М.Ю.Сорокина
Архив РАН

В глубине кладбища старинного немецкого университетского городка Гисен (земля Гессен), под раскидистыми березами, возвышается небольшой памятник с необычной для этих мест надписью кириллицей: «Иван Александрович Лаппо-Данилевский (1896—1931)», ниже — имя по-немецки и уточнение: профессор университета, член-корреспондент Академии наук в Ленинграде. Еще ниже — мемориальная плита с надписью: «Ольга Алексеевна Лаппо-Данилевская (1898—1975)».

Мой путь к этому скромному памятнику был извилист и необычен. В самом начале перестройки мне пришлось издавать архивную рукопись выдающегося русского историка и философа Александра Сергеевича Лаппо-Данилевского (1863—1919) «История политических идей в России в XVIII в. в связи с общим ходом развития ее культуры и политики»*. В предисловии хотелось написать несколько слов об истории семьи ученого, являвшей собой ту самую «пучковость талантов», которая столь характерна для русской культуры Серебряного века. Отец историка — Сергей Александрович Лаппо-Данилевский в течение многих лет был верхнеднепровским предводителем дворянства и таврическим вице-губернатором; мать — Надежда Федоровна Чуйкевич происходила из старинного малороссийского дворянского рода Чер-

ниговской губернии. Один из сыновей А.С.Лаппо-Данилевского — Иван стал математиком и членом-корреспондентом АН СССР, другой — Александр (1898—1920) — художником, учеником известного живописца К.С.Петрова-Водкина.

Казалось само собой разумеющимся, что потомки такой известной дворянской фамилии найдутся быстро, однако первые же результаты поиска оказались обескураживающими. За годы советской власти даже могилы отца и сына, А.С. и А.А.Лаппо-Данилевских на Смоленском кладбище Ленинграда оказались утрачены, а судьба семьи Ивана Лаппо-Данилевского оставалась неизвестна: в 1930 г. он выехал в Гисен, где вскоре скончался. Личный архив ученого пропал, в России сохранилось около десятка его писем да несколько фотографий. Зато обращение в университетский архив Гисена оказалась исключительно результативным: менее чем через месяц после запроса архив сообщил, что потомки И.А.Лаппо-Данилевского, несмотря на катаклизмы середины XX в., по-прежнему живут в этом городе.

Вся научная биография математика Ивана Лаппо-Данилевского уместилась в шесть лет: за этот срок он прошел путь от студента Ленинградского университета до всемирно признанного ученого. Случай в истории науки неординарный, но и не исключительный, ведь сам образ мышления в математике — мгновенные, все постигающие взлеты и прозрения, и как «возмездие» за сверхъяркую вспышку — ранний (физический или творческий) уход.



И.А.Лаппо-Данилевский. 1920-е годы.

И все же еще современник отмечал: «Не часто появляются обладатели такой смелой, свежей и глубокой научной мысли» [1], а философ и историк науки Т.И.Райнов в оставшейся неопубликованной статье, посвященной методологии научного творчества, поставил Лаппо-Данилевского в ряд «русских Моцартов», загадка гения которых остается непознанной [2].

Иван Александрович Лаппо-Данилевский родился 28 сентября 1896 г. в Петербурге. Среди его родственников — один из основателей школы отечественной медиевистики И.М.Гревс и неперменный секретарь Академии наук, индолог С.Ф.Ольденбург, литературовед А.А.Гизетти и революционер-народник Д.Д.Бекарюков, писательница Н.А.Лаппо-Данилевская. Простое перечисление этих фамилий, а также — ближайших друзей семьи — Вер-

* Опубликовано издательством «Наука» в 1990 г. под вынужденно нейтральным названием «История русской общественной мысли и культуры. XVII—XVIII вв.».



А.С.Лаппо-Данилевский.



А.А.Лаппо-Данилевский.

Автопортрет.

надских, Корниловых, Дьяконовых и др., в значительной мере определявших интеллектуальный тонус своего времени, дает представление об атмосфере высокой духовности и научной взыскательности, в которой воспитывался будущий математик. Но доминирующим, а часто и подавляющим, было влияние отца. Сдержанный в употреблении «высокого штиля», академик В.И.Вернадский лишь однажды в своем дневнике изменил этому правилу, характеризуя Лаппо-Данилевского-старшего: «Совершенно выдающаяся образованность и глубина исканий <...> крупное порождение русской культуры, ее исключительного богатства, красоты и мощи <...> ученый и мудрец» [3].

Отец передал сыну свои главные духовные привязанности — любовь к математике, философии и музыке, тем самым как бы предопределив и излом его судьбы. Музыкальная одаренность мальчика проявилась с ранних лет, ему пророчили будущее крупного музыканта, его исполнительский талант был признан и уважаем. Однако ревностное отношение отца к занятиям сына заставило Ивана отказаться от музыкальной карьеры.

Вопреки бытующему мнению о сухости и нежизненности классических гимназий, они многое давали своим питомцам. Частная гимназия г-жи Лентовской, в которой учился Лаппо-Данилевский, была одним из лучших учебных заведений в Петербурге. Здесь в полной мере выявились и математические способности Ивана. В эти годы с ним познакомился его будущий научный руководитель, академик, а в то время преподаватель Петербургского университета В.И.Смирнов. «Он поразил меня, — писал позднее Владимир Иванович, — своим глубоким математическим образованием, горячим стремлением к творческой работе и необыкновенной общностью тех проблем, которые он себе ставил» [4].

Именно эти прекрасные задатки сыграли в дальнейшем роковую роль в жизни молодого человека. Согласно семейному преданию, юный математик показал одно из своих теоретических сочинений академику В.А.Стеклову, который одобрил его, однако не заметил нестрогости отдельных доказательств. Это и стало поводом для душевной драмы юноши, приведшей в 1914 г. к отказу от начавшейся

было учебы в Петербургском университете, а с ней и от занятий наукой. Так с началом первой мировой войны, знаменовавшей этапный момент в истории России, закончился и своеобразный «пролог» жизни Ивана Лаппо-Данилевского.

Кровавые будни гражданской войны не обошли семью Лаппо-Данилевских: в феврале 1919 г. неожиданно скончался Александр Сергеевич, а менее чем через год, в январе 1920 г., — его младший сын. Трагические события катализировали жизненную энергию Ивана; по словам В.И.Вернадского, «он вдруг изменился и проявил блестящие математические способности — уже после революции. Тут я с ним ближе столкнулся — математики видели в нем восходящего гения» [5].

На рабочем столе Лаппо-Данилевского снова появляются листы бумаги, испещренные математической символикой. Однако ради заработка он вынужден отдавать более «низким» занятиям; так, в течение ряда лет он был председателем правления кооператива одного из домов на Васильевском острове. Три года в этой «должности» оказались периодом «коммунального триумфа» Лаппо-Данилевского, выигрывавшего все судебные процессы с подрядчиками на строительство, ремонт и т.п. Профессиональные юристы отказывались верить, что перед ними дилетант в юриспруденции.

Параллельно с возвращением Лаппо-Данилевского в математику шел процесс оживления научной деятельности в академических и университетских учреждениях после окончания гражданской войны. В 1921 г. создается Физико-математический институт РАН. Руководимый академиком В.А.Стекловым, институт в своем математическом отделе сосредоточил лучших математиков Петрограда: здесь работали И.М.Виноградов, Г.М.Фихтенгольц, Н.М.Гюнтер, В.И.Смирнов и др. Одновремен-

но многие из них преподавали в Петроградском университете, где в 1924 г. Лаппо-Данилевский восстановился на физико-математическом факультете.

Для профессуры университета, все более захлестываемого энергичными, но мало подготовленными рабфаковцами, приход Лаппо-Данилевского стал событием. Г.М.Фихтенгольц с горькой иронией заметил: «Ученый с вполне определенной научной индивидуальностью в роли студента производит комическое впечатление» [6]. Но отношение коллег к научной деятельности нового студента не было совершенно безоблачным. Так, академик Стеклов согласился поддержать кандидатуру Лаппо-Данилевского при поступлении в аспирантуру только в том случае, «если оставит глупости», под которыми подразумевал талантливые, но слишком, на его взгляд, широкие и неконкретные размышления молодого математика.

Между тем Лаппо-Данилевский поставил перед собой задачу решить на основе собственной теории ряд проблем, занимавших на протяжении второй половины XIX в. столь блестящие математические умы, как Г.Риман, М.Миттаг-Лефлер, А.Пуанкаре и др., — проблем аналитической теории линейных дифференциальных уравнений. Старая теория, заведенная к тому моменту до известной степени в тупик, в исследовании Лаппо-Данилевского приобрела совершенно иной вид: переменяв самую точку зрения, он создал новую теорию — теорию функций матричного переменного. Предложенный им метод устранял трудности, ранее считавшиеся непреодолимыми. Впоследствии академик Н.Н.Лузин специально отметил изящество решения Лаппо-Данилевского [7].

С середины 20-х научная деятельность И.А.Лаппо-Данилевского развивается с необыкновенной быстротой и интенсивностью. В 1927 г. он публикует свой первый труд (на француз-

ском языке), в 1928-м — основополагающую работу, защищенную позднее в качестве диссертации. К 1929 г. он имел уже 13 публикаций, из них девять — в «Докладах Парижской академии наук». Его работы получают стремительное признание в математическом сообществе. Аспиранта Лаппо-Данилевского приглашают выступить с докладом на I Всероссийском съезде математиков в Москве (1927), первом такого рода собрании после 1917 г.; на Международном математическом конгрессе в Болонье (Италия; 1928). Однако ни то, ни другое выступление не состоялось. Большое сердце, подвергавшееся немислимым для него перегрузкам — для содержания семьи математик был вынужден взять чудовищную лекционную нагрузку (57 часов в неделю!), — не выдерживало.

Наконец, в апреле 1929 г. состоялась блистательная защита диссертации. Отзывы оппонентов и критиков были в высшей степени положительные. Я.В.Успенский считал, что работа Лаппо-Данилевского превосходит самые строгие требования и открывает такие богатые перспективы, что разрабатывать их будет не одно поколение математиков. Н.М.Гюнтер, Н.С.Кошляков, В.И.Смирнов — все предрекали блестящее будущее Лаппо-Данилевскому. Однако некоторые «выдвиженцы» обвинили молодого ученого в схоластике: наука, по их мнению, должна заниматься нуждами практики, народного хозяйства, а не «отлетать» в теоретические эмпирии, не доступные пониманию простого смертного рабфаковца. Трудно сказать, во что могла превратиться эта «ложка дегтя» в годы «великого перелома», — вспомним судьбу, например, Д.Ф.Егорова, но накануне диспута Фихтенгольц получил письмо от профессора Гисенского университета Людвиг Шлезингера (1864—1933), специалиста по обыкновенным дифференциальным уравнениям, который интересовался работами Лаппо-

Данилевского и возможностью его стажировки в Германии. Так возникла перспектива — важная не только в научном, но и в жизненном отношении, ибо давала столь необходимую передышку.

Музыка, как и математика, воспринималась Лаппо-Данилевским как «реальность идеального порядка», в которую только и могут воплотиться абсолютная гармония и красота, столь созвучные духовному настрою ученого. Математический текст часто трансформировался у него в форму нот, и, наоборот, в сочинениях Александра Скрябина и Рихарда Вагнера он находил музыкальный эквивалент математической символике, а в конечном счете и своим философским размышлениям о сущности бытия.

Вот характерный пример из эпистолярия ученого. Обсуждая одно из произведений Вагнера, он писал: «Фет очень красиво издевается над звездами, как они того и заслуживают. Незыблемость, неизменяемость, вечность надо искать совсем не там: ее не может быть в мире эмпирической реальности. Но она зато проявляется полностью в мире идеальной реальности. Например, «созерцающая» формулы Эйлера

$$\sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}, \quad \cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2},$$

чувствуешь действительно «касание мирам иным». Я привел в пример только звездочки самой последней величины, есть, конечно, несравненно более яркие. Эти звезды никогда не потухнут».

Своих духовных единомышленников Лаппо-Данилевский нашел в лице ленинградского архитектора А.М.Нечаева* и его семьи, вместе с которыми он ос-

* Ученик выдающегося архитектора А.В.Щусева, позднее помощник ректора Архитектурного института. В 1947 г. Нечаевы передали в Публичную библиотеку в Ленинграде ряд сохраненных ими документов И.А.Лаппо-Данилевского. Приношу благодарность потомкам Нечаевых за предоставленные сведения об их семье.



Гисенский университет.

новал Вагнеровский кружок, «изучавший Вагнера с исторической, философской, литературной и музыкальной стороны». Кружок, который занимался далекими от реальности вопросами научно-художественного творчества, стал в условиях 20-х годов, когда все более набирала силу идея коллективизма, подчиняющего и подавляющего личное начало, своеобразной формой интеллектуального и культурного самосохранения, попыткой противостояния и даже протеста против системы тотального единомыслия. Множество таких кружков, существовавших на протяжении 20 — начала 30-х годов, жестоко преследовались властью, видевшей в них очаги не подавленного до конца свободомыслия и, следовательно, угрозу существовавшей идеологической доктрине. В середине 30-х Нечаев был выслан в Архангельскую обл.; вряд ли такая же участь миновала бы и Лаппо-Данилевского.

Однако летом 1929 г. в Ленинград приехал директор европейского представительства Рокфеллеровского института профессор Джонс, согласовавший вопрос о Рокфеллеровской стипендии для Лаппо-Данилевского, который приглашался на стажировку сразу

в два университета — в Гисен к Л.Шлезингеру и в Кембридж (США) к Д.Биркгоффу.

Свой выбор Лаппо-Данилевский остановил на Гисене, в чем, безусловно, важную роль сыграла близость Марбурга, Франкфурта — музыкальных и философских центров Германии, а также удобное географическое расположение, позволявшее легко поддерживать связь с родиной. И 29 сентября 1930 г. больной — внесенный в вагон на руках друзей — Лаппо-Данилевский с семьей (жена и дочь) уезжает в Германию, откуда ему не суждено уже вернуться.

Обстановка в Гисене резко отличалась от советской. Весь уклад жизни университетского городка был подчинен спокойной, размеренной научной жизни его обитателей. «Условия для работы здесь идеальные, — писал Лаппо-Данилевский своему другу и коллеге, математику Р.О.Кузьмину [8]. — Изредка нужно отдать дань местным обычаям: в компании профессоров посидеть пару часов в Café "Amend", затратив на все это удовольствие 1 марку. Что они в этом находят хорошего — не понимаю. Накурено, скверная музыка и корпоранты в цветных фуражках. Здесьние ассистенты тоже сидят в Café

и поправляют студенческие тетради, но к профессорскому столу не допускаются!» [9].

Значительны планы ученого. Академику А.Н.Крылову он сообщил: «Напечатал статью в Comptes rendus, на днях должен сдать в печать в Crelle's Journal первый немецкий мемуар, где излагаются прямые задачи, которые удалось, наконец, довести до конца; в феврале буду делать 2-й доклад в университете; в марте согласно полученного на днях приглашения от Hadamard'a поеду в Париж, чтобы читать доклады в Collège de France, в апреле должен сдать в печать второй немецкий мемуар для Crelle и, наконец, с мая по июль в Sommersemester'e буду читать курс по моей теории в Гисенском университете» [10].

Параллельно в Ленинграде учителя и коллеги Лаппо-Данилевского, в полной мере оценившие талант молодого математика, выдвинули его кандидатуру в члены-корреспонденты Академии наук СССР. Предложение об этом было подписано И.М.Виноградовым, Н.Н.Лузиным и А.Н.Крыловым. Последний, возглавивший после смерти Стеклова в 1926 г. Физико-математический институт, имел на Лаппо-Данилевского особые виды. Сохранился набросок его письма в Президиум АН СССР, в котором он предлагал Ивана Александровича на должность директора математического отделения в его институте [11]. Легко представить, какие перспективы открылись бы перед институтом, если бы удалось реализовать замысел Крылова. Добавлю, что на роль директора физического отделения он предназначал другого рокфеллеровского стипендиата — Г.А.Гамова.

1 февраля 1931 г. Лаппо-Данилевский заочно избирается членом-корреспондентом АН СССР, а через полтора месяца, 18 марта 1931 г., академик А.Н.Крылов получил записку: «Глубокоуважаемый Алексей Николаевич. Мною получена телеграмма о том, что Иван Алексан-

дрович Лаппо-Данилевский скончался в Гисене 15-го марта в 7 ч 45 мин вечера. Е.Лаппо-Данилевская (мать)» [12]. По свидетельству жены, его последние слова были: «Я так устал, так устал, что больше не могу».

После кончины ученого в АН СССР почтили его память и вклад в науку, издав трехтомное собрание сочинений в 1934—1936 гг. Некоторое время в Ленинградском университете работал семинар по изучению теории Лаппо-Данилевского, а в мае 1941 г. одно из заседаний научной сессии механико-математического факультета ЛГУ было посвящено его памяти.

Все годы после кончины ученого его семья (вдова и дочь Ирина) оставалась жить в Гисене. Некоторое время Ольга Лаппо-Данилевская* была домоправительницей в семье профессора-математика Шларпа, выходяца из Одессы. Несмотря на предложения германских властей, она долго не меняла гражданства, оставаясь подданной России и православной. Женщина недюжинной силы воли, Ольга Лаппо-Данилевская сумела обеспечить образование дочери, сама изучала математику в Гисене, чтобы редактировать труды скончавшегося мужа, и в 1953 г.

* Дочь известного профессора электротехники Алексея Алексеевича Петровского (1873—1942), ученика А.С.Попова и первого научного руководителя радиолоборатории морского ведомства.

издала в США по-французски, в своем переводе и с предисловием В.И.Смирнова, еще один том его трудов. Человек разносторонних интересов, она профессионально изучала археологию и ботанику, много рисовала и всегда хранила память о своем безвременно ушедшем муже.

Короткая жизнь Ивана Лаппо-Данилевского оказалась отмеченной тем «знаком историзма», который превращает факт в явление, биографию одного в судьбу поколения. Все в ней, изначально predetermined, было сметено и в конечном счете разрушено вихрями эпохи. Со смертью Ивана Александровича оборвалась линия Стеклов—Смирнов—Лаппо-Данилевский, одна из тех многих цепочек, которые принято именовать преемственностью поколений. И с обрывом даже одной из них наука теряет то, что составляет ее жизненную ткань, — личность творца, потеря которого невозполнима. Сколько же таких цепочек прервалось в 20—30-е годы... Масштаб безвозвратно утраченного приоткрывается только сегодня. И было бы непростительным упрощением видеть причины этого исключительно в репрессиях или кампаниях-травлях. Талант по своей природе хрупок и нежен, нуждается в поддержке, помощи и участии, без которых погибает, унося с собой неповторимый мир. Все же частица его всегда продолжа-



Могила супругов Лаппо-Данилевских (Гисен, Германия)

ет пребывать среди людей, оставляя надежду на продолжение.

Приношу глубокую благодарность госпоже Ольге Лаппо-Данилевской, внучке Ивана Александровича Лаппо-Данилевского, за предоставленные фотографии и сведения об истории семьи. ■

Работа выполнена при поддержке Российского государственного научного фонда. Проект 01-03-0055.

Литература

1. Федоров Л. Памяти И.А.Лаппо-Данилевского // Природа. 1931. №9. С.924.
2. Райнов Т.И. Пушкин и вопросы научного творчества // ОР РГБ. Ф.441. Картон 3. Д.14. Л.40—42.
3. Вернадский В.И. Дневники 1917—1921 гг.: В 2 т. Т.1: 1917—1919. Киев, 1994. С.129.
4. Лаппо-Данилевский И.А. Теория функций от матриц и системы линейных дифференциальных уравнений. М.; Л., 1934. С.7.
5. АРАН.Ф.518. Оп.2. Д.18. Л.89.
6. СПбФARAN. Разряд IV. Оп.1. Д.853. Л.24.
7. Лузин Н.Н. Собрание сочинений. М., 1959. Т.3. С.349.
8. СПбФARAN. Ф.943. Оп.1. Д.96. Л.1об.
9. И.А.Лаппо-Данилевский — А.М.Нечаеву / Публ. М.Ю.Сорокиной и М.И.Кратко // Нариси з історії природознавства і техніки. Вып.41. Киев, 1994. С.137.
10. Мельников И.Г. Выдающийся математик И.А.Лаппо-Данилевский // Вопр. истории естествознания и техники. Вып.4 (53). М., 1975. С.67.
11. СПбФARAN. Ф.759. Оп.2. Д.106. Л.1—3.
12. СПбФARAN. Ф.759. Оп.3. Д.141. Л.4.

Любовь к родному пепелищу

Н.В.Успенская

Москва

За первый год существования «Природа» дважды меняла свой адрес. В №1 значится, что контора (редакция) издательства «Природы» располагается на Мясницкой, в Милютинском пер., д.16. (В советское время Милютинский назывался ул.Мархлевского.) Вспомним А.Е.Ферсмана: «На задворках старенького дома на Малой Лубянке, среди угроз описи личного имущества, среди совершенно исключительных условий рождалась “Природа”...»

Как-то не верилось, что в центре Москвы, между Мясницкой и Малой Лубянской, могло сохраниться скромное строение на задворках уже тогда, 90 лет назад, старенького дома. Но чудеса! Строение стоит и поныне — двухэтажный ветхий кирпичный дом, — даже номера не поменял и достоин того, что-

бы о нем рассказать. Кстати говоря, под №16 значатся три дома: один по линии улицы и два строения во дворе (на задворках). Все три принадлежали бывшему истопнику Петра I А.Я.Милютину, который завел шелковую и позументную мануфактуру — самую большую в Москве.

Согласно известному исследователю первопрестольной С.К.Романюку, строения сохранились в почти неизменном виде с XVIII в. Дом №16 по линии улицы знаменит тем, что в нем находился театр «Летучая мышь», где выступали и Шаляпин, и Собинов, и другие знаменитости, а в 1916 г. открылась 2-я студия МХАТ.

Однако наш дом на задворках, возможно, знаменит еще более. Согласно все тому же Романюку, тут жила тетка Александра Сергеевича Пушкина Елизавета Львовна Сонцова. Поэт бы-

вал здесь и писал жене о тетушкиных детках: «Кузинки пищат, как галочки». В 1837 г. у сестры гостил отец Пушкина, где узнал о гибели сына... Ранее об этом пушкинском месте в Москве не было известно, да и сейчас мемориальной доски нет.

Редакция «Природы» уютилась в Милютинском немногим более полугода. С сентября 1912 г. у нее другой адрес: Мясницкая, Гусятников пер., д.11. Редакция въехала в только что отстроенный многоэтажный шикарный доходный дом. Его архитектор — В.Е.Дубовской. Над крыльцом дома, на уровне второго и третьего этажей, возвышается крупная фигура рыцаря в латах.

В доме с рыцарем «Природа» также просуществовала недолго. Но с ним, как и с домом на Милютинском (оба показаны на обороте обложки), связан наш первый, наш 1912 год. ■

© Н.В.Успенская

