

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

1 98



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

НА ПЕРВОЙ И ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦАХ ОБЛОЖКИ.

Активна на подводном вулкане Лоихи. Глубина океана 3100 м.

Момент спуска глубоководного обитаемого аппарата «Мир» с борта научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш».

См. в номере: **Сагалевич А.М.** «Мир-1» и «Мир-2»: нужны ли России достижения ее науки и техники?

Фото Ю.А.Володина



В НОМЕРЕ

- 3 Федонкин М.А.**
ВТОРОЕ РОЖДЕНИЕ
КИМБЕРЕЛЛЫ

Уникальный материал, собранный на Зимнем Береге Белого моря, позволил интерпретировать один из видов вендской фауны как самый древний моллюск.

- 11 Трубников Б.А.**
ЗАГАДКА НЕБЕСНЫХ ГАММА-
ВСПЛЕСКОВ БЛИЗКА
К РЕШЕНИЮ

- 19 Кусков О.Л.**
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И
ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЛУНЫ

Ключ к распознаванию химического состава Луны можно отыскать в ее сейсмическом строении, т.е. геохимическую информацию необходимо дополнить геофизическим материалом.

- 30 Голуб В.В.**
СВЕРХЗВУКОВОЙ ВЫБРОС ГАЗА

Что общего между выхлопом при выстреле, вулканическом выбросом и генерацией астрофизических струй? Можно ли построить модель явлений, различающихся по масштабу в 10^{10} раз? Ответы на эти и другие вопросы — в данной статье.

- 37 Сагалевич А.М.**
«МИР-1» И «МИР-2»: НУЖНЫ ЛИ
РОССИИ ДОСТИЖЕНИЯ ЕЕ
НАУКИ И ТЕХНИКИ?
К 10-летию создания и эксплуа-
тации

На протяжении 10 лет «Миры» — одни из самых совершенных на сегодняшний день подводных обитаемых аппаратов — обеспечивали получение самых достоверных знаний о Мировом океане. Ныне их уникальные возможности оказываются невостребованными из-за финансовых трудностей.

- 51 Сурдин В.Г.**
РЕАКТИВНЫЕ СТРУИ
У МОЛОДЫХ ЗВЕЗД

- 53 КРАСНАЯ КНИГА**
Ивановский В.В.
ДЕРБНИК — «ДАМСКИЙ СОКОЛ»

- 58 Белик В.П.**
ПОЧЕМУ В РОССИИ ИСЧЕЗЛИ
ДРОФЫ?

- 63 ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ**
Булавинцев В.И.
ГЮРЗЕ НЕ ХВАТИЛО
МГНОВЕНЬЯ

- 65 Фейнберг Е.Л.**
ЛАНДАУ, КАПИЦА И СТАЛИН
К 90-летию Л.Д. Ландау

- 76 Зубов А.А.**
ЕСТЕСТВЕННАЯ ИСТОРИЯ
ДРЕВНЕГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

В истории рода Ното, этапы эволюции которого, казалось бы, давно известны, возникают существенные дополнения и изменения, если по-иному взглянуть на уже известные антропологические материалы.

- 88 НОВОСТИ НАУКИ (29)**
КОРОТКО (52, 118)

- 105 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ**
ПРЕМИИ 1997 ГОДА
Джикаев Ю.К. ПО ФИЗИКЕ —
С.ЧУ, К.КОЭН-ТАННУДЖИ, У.Д.ФИЛ-
ЛИПС (105)
Виноградов А.Д., Болдырев А.А.
ПО ХИМИИ — П.БОЙЕР,
ДЖ.УОКЕР И Й.-К.СКОУ (109)
**Кушников В.В., Тер-Аване-
сян М.Д.** ПО ФИЗИОЛОГИИ И
МЕДИЦИНЕ — С.ПРУЗИНЕР (112)

- 117 НОВЫЕ КНИГИ**

- 119 СПУТНИКОВАЯ НАВИГАЦИЯ В
ДЕЙСТВИИ**

- 123 РЕЦЕНЗИИ**
Танасийчук В.Н.
ВСЕМ, КТО ИЗУЧАЕТ
БИОРАЗНООБРАЗИЕ

- 125 ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ**
Любина Г.И.
«РУССКИЙ ПАРИЖАНИН»
Г.Н.ВЫРУБОВ

CONTENTS

3 Fedonkin M.A.

KIMBERELLA'S SECOND BIRTH

The unique material gathered on the Zimnii Coast of the White Sea enabled one of the species of Vendian fauna to be interpreted as the oldest mollusk on Earth.

11 Trubnikov B.A.

ENIGMA OF CELESTIAL GAMMA-RAY BURSTS NEARING ITS RESOLUTION

19 Kuskov O.L.

LUNAR CHEMISTRY AND INTERNAL STRUCTURE

The seismic structure of the Moon holds important clues to its chemical composition. In order to gain an overall picture, geochemical data must be integrated with geophysical evidence.

30 Golub V.V.

SUPERSONIC GAS RELEASE

What do gunshot exhausts, volcanic outbursts, and astrophysical jets have in common? Is it possible to develop one model for phenomena that differ in size by a factor of 10^{10} ? The answers to these and other questions are given in this article.

37 Sagalevich A.M.

MIR-1 AND MIR-2: DOES RUSSIA REALLY NEED ITS ACHIEVEMENTS IN SCIENCE AND ENGINEERING? TEN YEARS AFTER

For ten years now, the Mirs — world-class manned submersibles — have provided most reliable information concerning the world's oceans. At present, their unique capabilities are left idle owing to financial straits.

51 Surdin V.G.

JETS FROM YOUNG STARS

53 RED DATA BOOK

Ivanovsky V.V.

MERLIN — FAUCON DE DAMES

58 Bellk V.P.

WHY BUSTARDS HAVE DISAPPEARED IN RUSSIA

63 NOTES AND OBSERVATIONS

Bulavintsev V.I.

IF ONLY THE VIPER HAD ONE MORE MOMENT...

65 Feinberg M.G.

LANDAU, KAPITZA AND STALIN

On the 90th anniversary of L.D.Landau's birth

76 A.A. Zubov

NATURAL HISTORY OF ANCIENT HUMANS

It would seem that the evolutionary stages of the human race have long been established. However, the history of the genus Homo would warrant substantial modifications and additions, if we look at available anthropological evidence in a different light.

88 SCIENCE NEWS (29)

IN BRIEF (52, 118)

105 1997 NOBEL PRIZE WINNERS

117 NEW BOOKS

119 SATELLITE NAVIGATION SYSTEM AT WORK

123 BOOK REVIEWS

Tanasilchuk V.N.

FOR ALL WHO STUDY BIODIVERSITY

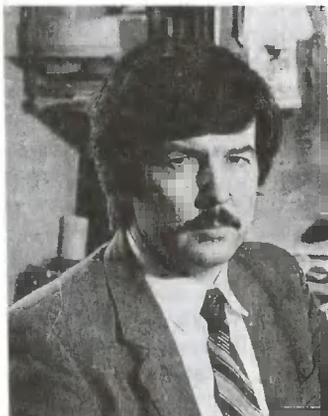
125 ENCOUNTERS WITH THE FORGOTTEN

Lyubina G.I.

G.N. VYRUBOV: A RUSSIAN PARI-SIAN

Второе рождение кимбереллы

М. А. Федонкин



Михаил Александрович Федонкин, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией докембрийских организмов Палеонтологического института РАН. Основные научные интересы связаны с ранней эволюцией биосферы, происхождением многоклеточных животных и стратиграфией докембрия.

В 1977 г. Зимний Берег Белого моря стал «окном» в биосферу позднего протерозоя. Там было найдено крупнейшее в мире местонахождение докембрийских беспозвоночных, населявших нашу планету около 600 млн лет назад¹. За два десятилетия полевых исследований были собраны тысячи экземпляров ископаемых животных, ранее считавшихся уникальными, описаны десятки новых родов и видов, открыты новые классы и типы многоклеточных животных².

Корни многих групп современного органического мира уходят в поздний протерозой. Именно тогда, в вендский период, глобальная экосистема претерпела кардинальную перестройку, приведшую к формированию биосферы фанерозойского типа³.

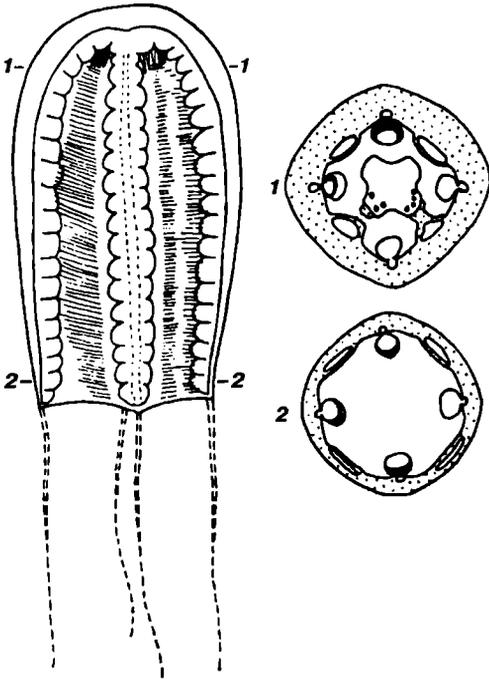
Несмотря на 20-летнее изучение венда на Зимнем Берегу, почти каждый год приносит поразительные открытия все новых форм жизни. Но и ранее известные виды древнейшей фауны порой дают совершенно новое виденье вендской биоты — вероятно, самого драматического периода в истории Земли. В 1993—1995 гг. специалисты Палеонтологического института РАН и Музея палеонтологии Калифорнийского университета в Беркли провели три совместные экспедиции на Зимний Берег. Результаты раскопок были ошеломляющими: удалось обнаружить массу совершенно новых форм, а также те виды, которые встречались ранее лишь спорадически. Среди последних — *Kimberella quadrata*.

© М.А.Федонкин

¹ Федонкин М.А. Крупнейшее местонахождение вендской фауны // Природа. 1981. № 5. С.94—102.

² Федонкин М.А. Бесскелетная фауна венда и ее место в эволюции метазоа. М., 1987.

³ Соколов Б.С. Вендский период в истории Земли // Природа. 1984. № 12. С.3—18.



Первая реконструкция окаменелости кимбереллы как медузы; справа — реконструированные поперечные сечения: 1 — через верхнюю часть зонтика с ротовым аппаратом в центре; 2 — через нижнюю часть зонтика. Четыре овальных структуры у стенок внутри зонтика отвечают репродуктивным органам (no: Glaessner M.F., Wade M., 1966).

НАХОДКИ КИМБЕРЕЛЛЫ

Этот вид, открытый в кварцитах Паунд Южной Австралии в составе знаменитой теперь Эдиакарской фауны, названной так по месту первых находок⁴, в 1966 г. впервые описали пионеры палеозоологии докембрия М.Глесснер и М.Уэйд⁵. Тогда они полагали, что кимберелла — это медуза с удлинненным зонтиком, по некоторым признакам схожая с ныне живущими сцифоидными медузами (отряд кубомедуз). У таких активно плавающих хищников тропических морей стрекочущие клетки столь ядо-

виты, что могут вызывать даже у человека тяжелые, иногда смертельные, «ожоги».

Авторитет классиков был настолько высок, что реконструкция кимбереллы в виде медузы продержалась более 30 лет, кочуя по страницам учебников и популярных изданий, по музейным экспозициям мира. Более того, представление о том, что кимберелла — кубомедуза, получило некоторое развитие. Так, Р.Дженкинс (Университет Аделаиды, Южная Австралия), создавая свою более детальную реконструкцию, указал признаки, отвечающие мускулатуре, желудку, репродуктивным органам и т.д.

Следует заметить, что тогда австралийские специалисты имели в своем распоряжении лишь четыре почти полных отпечатка (других местонахождений этого ископаемого в мире не было), а опыт их расшифровки ограничивался только эдиакарским материалом. Необычность же этих окаменелостей заключается в том, что докембрийские животные сохранились как отпечатки и слепки мягких тканей, в то время как классическая палеонтология имеет дело преимущественно с остатками твердых минерализованных частей организмов — скелетов, панцирей, зубов, спикул и т.п.

Первый экземпляр кимбереллы за пределами Австралии мы нашли на Зимнем Берегу в 1978 г. Этот небольшой, но хорошо сохранившийся полный отпечаток принадлежал билатерально-симметричному животному с явными признаками сегментации. Тогда ни автор, ни австралийские коллеги, познакомившиеся со снимками новой находки, не признали в ней кимбереллу. Казалось, что найден новый род, и требовался дополнительный материал для его детального описания. Несколько более поздних находок мелких форм все еще не позволяли связать их с австралийским видом.

За последние годы удалось добыть около 40 экз. кимбереллы. Эта коллекция обнажила весь спектр особенностей сохранности, который опре-

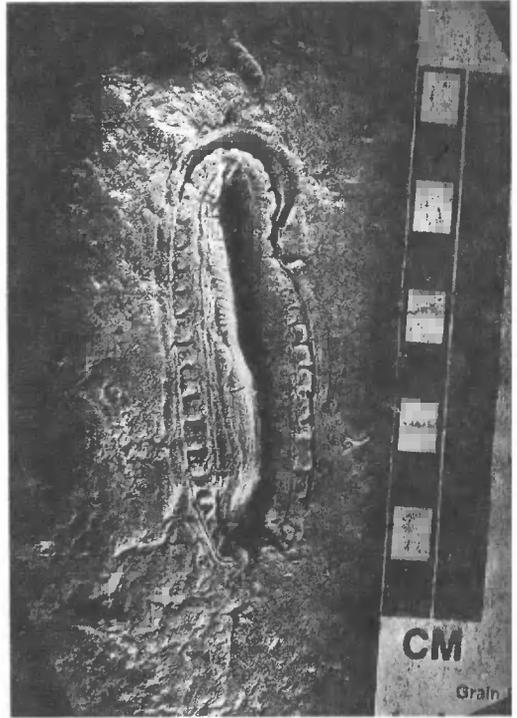
⁴ Глесснер М.Ф. Древнейшие бесскелетные организмы // Природа. 1963. № 11. С.73—78.

⁵ Glaessner M.F., Wade M. // Palaeontology. 1966. V.9. Pt.4. P.599—628.



Отпечатки кимбереллы на подошве песчаника. Зимний Берег Белого моря. 1995—1996 гг.

деляется средой обитания, возрастными изменениями морфологии животного, условиями его захоронения, помертвой деградацией тканей и последующей судьбой осадка вплоть до его отвердения (литификации). Впервые мы получили возможность построить серию экземпляров — от молодых особой длиной всего 2—3 мм (на пределе распознавания из-за зернистости породы) до взрослых животных 15 см длиной. Этот уникальный материал, сконцентрированный в Палеонтологическом институте, позволил проследить динамику роста организма и изменение признаков в разных обстоятельствах захоронения и фоссилизации. Стало ясно, что эти окаменелости при всех своих различиях относятся к виду *Kimberella quadrata* и что это животное — вовсе не медуза, а организм более высокой организации. Ни один из найденных образцов не



показал ни четырехлучевой симметрии, ни щупалец, приписанных кимберелле. Этих признаков не было и в австралийском материале — исследователей ввели в заблуждение случайные деформации осадка.

Будучи одним из основных исполнителей двустороннего исследовательского проекта Палеонтологического института РАН и Музея палеонтологии в Беркли, финансируемого Национальным фондом науки США, автор счел необходимым пригласить к работе над новым материалом аспиранта Калифорнийского университета Б.Варгонера, который несколько месяцев стажировался в лаборатории докембрийских организмов ПИНа и дважды участвовал в полевых работах на Зимнем Берегу.

МЕДУЗА ЛИ ЭТО?

Замечательная особенность беломорских находок заключается в том, что многие, даже мелкие, экземпляры сохранились как глубокие вмятины на нижней поверхности напластования

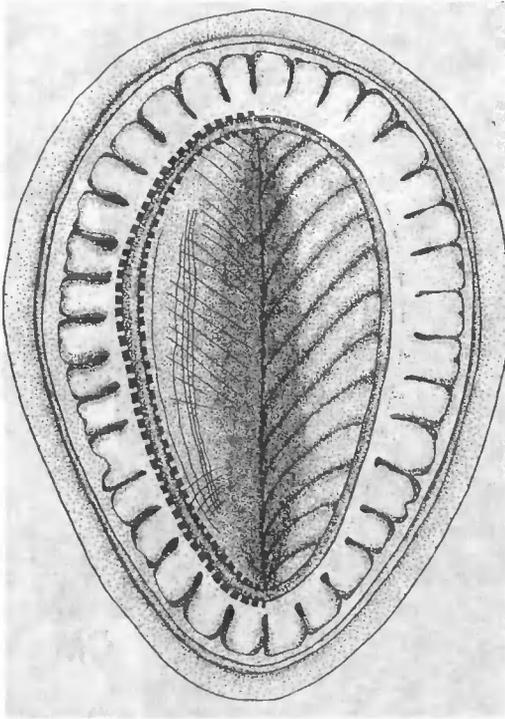


Схема идеального ископаемого, обнаруживающего признаки, наблюдаемые в большой выборке окаменелостей. В реальности эти признаки присутствуют в каждом экземпляре, а разнообразные посмертные деформации мягких тканей делают картину более сложной (по: Fedonkin M.A., Waggoner B.M., 1997).

песчаников. Если бы это были засыпанные песком медузы, чьи тела на 97% состоят из воды, то оставленные ими отпечатки выглядели бы гораздо более плоскими. В нашем случае рельефные отпечатки на подошве песчаника указывают на существование некоего «кровя», который сохранял механическую прочность и форму на всем протяжении времени, пока разлагались мягкие ткани животного и объем их замещался подстилающим осадком.

В новом материале открылся важный, ключевой факт: внутренняя и внешняя зоны отпечатка отражают совершенно разные типы деформации организма! Внешняя зона относительно жесткая, хотя и эластичная, выглядит почти всегда одинаково. Внутренняя

часть отпечатка, ограниченная «лепестками», демонстрирует огромное разнообразие боковых и вертикальных деформаций — от плоской до глубоко вогнутой поверхности, от идеального совпадения с внешней зоной до смещения относительно последней (вплоть до складок). Столь резкие различия в деформации разных частей ископаемого организма говорят о том, что только внутренняя часть отвечает отпечатку мягкого тела, которое произвольно сминалось. Внешняя зона окаменелости — это край раковины, наружный скелет животного!

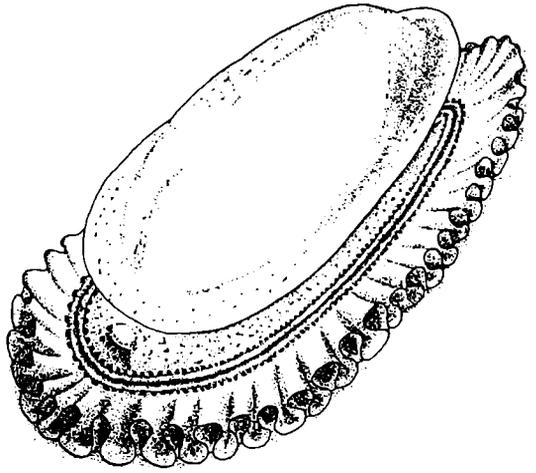
Такой вывод сам по себе уже стал вызовом господствующему представлению, будто все животные в венде были бесскелетными. По этому поводу высказывалось множество гипотез: концентрация растворенного в воде кислорода была настолько низкой, что обретение раковины препятствовало бы осмотическому дыханию через покровы тела; докембрийские беспозвоночные еще не выработали соответствующих биохимических механизмов формирования скелета; в животном мире преобладали те группы беспозвоночных, которые и ныне по преимуществу не имеют скелета; водная среда в докембрии была химически настолько агрессивной, что скелет просто не мог формироваться и т.д. Кроме того, наличие раковины у такого крупного вендского организма, как кимберелла, ставило ряд новых вопросов в отношении анатомического строения и физиологии этого животного.

Исследование признаков в пределах отпечатка мягкого тела показало, что их проявление связано с расположением соответствующих внутренних органов и тканей относительно брюшной поверхности животного, с их размерами и плотностью, а также — со сложными процессами превращения захороненного организма в окаменелость. Выяснилось, что при жизни брюшная поверхность была гладкой. Однако ее отпечаток несет множество линий — как бы проекции на нее разных органов. Расшифровка этой

интегрированной картины показала, что кимберелла во многих отношениях напоминает моллюска. Под высокой раковиной овальной формы располагалось мягкое тело с развитой спинно-брюшной и поперечной мускулатурой. В процессе питания и перемещения краевые части тела (ноги) могли широко выходить за пределы раковины. Животное, видимо, скользило по поверхности дна с помощью их волнообразного движения. В случае опасности (например, волнений морской воды) эти части тела втягивались под раковину, складываясь в регулярные складки, подобно воротнику испанских грандов на картинах старых мастеров. Именно в таком виде и сохранилось большинство экземпляров кимбереллы. Не исключено, что обширная поверхность тела с многочисленными складками краевых частей усиливала обменные процессы животного, включая дыхание. Эти «рюшки и воланы» отчасти служили органами дыхания.

Кимберелла питалась мелкими пищевыми частицами (одноклеточными водорослями, простейшими или бактериями), поднимая их с поверхности дна и осаждая на верхнюю поверхность своей обширной ноги. Там, около краевых складок, размещался питающий желобок, перемещавший с помощью ресничек пищевые частицы к ротовому отверстию. По обеим сторонам от желобка имелись какие-то жесткие образования, от которых на окаменелостях остались многочисленные углубления. Возможно, это были примитивные органы дыхания, оси которых обычно достаточно прочны. Не исключено, что это были и склериты — чисто органические или слегка минерализованные образования; у ныне живущих беспозвоночных они служат местом прикрепления мускульных тяжей и защищают мягкие ткани от паразитов и хищников.

Неясно пока, имела ли кимберелла радулу — особый, напоминающий терку, орган для размельчения пищи, свойственный большинству современных моллюсков. И хотя в передней части отпечатков иногда виден бугорок, который



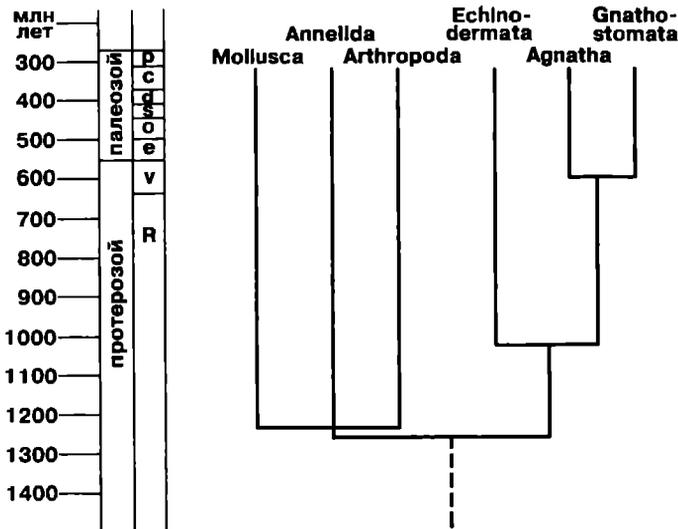
Реконструкция кимбереллы как билатерального организма, во многих отношениях напоминающего моллюска. Многочисленные складки по тонкому и нежному краю ноги образовывались в момент втягивания тела под раковину. При питании или движении эти складки были более пологими и формировали бегущую краевую волну.

при желании можно рассматривать как ротовую мускулатуру, вопрос о радуле пока остается открытым. Надо заметить, что радула крайне редко сохраняется и в более поздней ископаемой летописи моллюсков.

«НАМ НЕ ДАНО ПРЕДУГАДАТЬ...»

Наши результаты исследований кимбереллы изложены в обширной рукописи, которая готовится к печати, нескольких докладах и статье, опубликованной в «Nature»⁶. Научное сообщество живо откликнулось на новую интерпретацию одного из видов вендской фауны. Отзывы ведущих палеонтологов и зоологов мира на страницах популярных журналов («Discover», «American Scientist», «Earth», «Science News» и др.), дискуссии на электронных страницах Интернет не оставляют сомнения в том, что кимберелла представляет ветвь весьма продвину-

⁶ Fedonkin M.A., Waggoner B.M. // Nature. 1997. V.388. P.868—871.



Филогенетическое древо и время появления основных групп многоклеточных животных, по данным молекулярной биологии (по: *Wray G.A. et al., 1996*). Время кимбереллы находится посередине между настоящим днем и моментом появления первых беспозвоночных. Конфликт между краткой ископаемой летописью животных и длительной молекулярной летописью разрешится дальнейшими исследованиями и синтезом данных этих, еще недавно разобщенных, областей знания.

тых билатеральных, или трехслойных (*Bilateria=Triploblastica*), беспозвоночных.

Изменение взглядов на систематическое положение той или иной группы органического мира — довольно частое событие в современной палеонтологии и биологии в целом. Обычно оно сопряжено с дополнительными материалами, новыми фактами и оригинальными подходами к выяснению родства тех или иных групп. Сенсация, вызванная новой интерпретацией кимбереллы, связана и с открытием самого древнего моллюскоподобного организма, и с необходимостью признать наличие скелетных элементов (пусть чисто органических или слабо минерализованных) уже в венде, и с возможностью вовлечь эту новую информацию в сравнительный анализ палеонтологической летописи и молекулярной филогенетики.

В последние десятилетия молекулярные биологи ведут активную дискуссию о происхождении основных типов многоклеточных животных, о времени главных эволюционных событий в истории животного мира. Важнейшая цель этих исследований — понимание эволюции жизни как на организменном, так и на молекулярном уровнях. Сравнение аминокислотных или

нуклеотидных последовательностей гомологичных протеинов или нуклеиновых кислот ныне живущих видов позволяет измерить филогенетическое расстояние между ними. В основе одного из методов, получившего метафоричное название молекулярных часов, — идея о том, что накопление генетических изменений соответствует масштабам времени. Если мутации происходят с относительно постоянной частотой, то можно вычислить длительность времени, необходимого для формирования различий между сравниваемыми видами в ходе их эволюции от общего предка.

И хотя надежность хода молекулярных часов сейчас активно обсуждается и разные группы молекул нередко показывают разное время одних и тех же эволюционных событий, есть некоторые обнадеживающие совпадения. Например, расхождение эволюционных ветвей иглокожих и хордовых от их общего предка происходило позже разветвления на первичноротых (а это моллюски, кольчатые черви, членистоногие и ряд других типов) и хордовых. Впрочем, эта же последовательность событий предполагалась и ранее, по данным сравнительной анатомии и эмбриологии. Еще одно важное совпадение разных молекулярных часов —

указание на весьма древний возраст многоклеточных животных. Различные генные последовательности (цитохром *c*, β -гемоглобин, рибосомальные РНК и др.) указывают на очень древнее происхождение основных типов животных. Так, линии хордовых и беспозвоночных разошлись около 1 млрд лет назад⁷.

Привлекательным моментом молекулярных часов стало число (как часто цифры, не открывая сущности, придают нам уверенность в том, что мы ее poznali!), которое отражает и степень родства сравниваемых групп животных, и количество лет, прошедших после их происхождения. Единственный внешний критерий истинности выводов молекулярной филогенетики — палеонтологическая летопись. Признание в кимберелле моллюскоподобного организма несомненно повлияет на «калибровку молекулярных часов».

КТО ОНИ? ИЛИ ЧТО?

Вендские ископаемые эдиакарского типа стали предметом оживленной дискуссии в последнее десятилетие. Речь идет о природе этих окаменелостей. Подавляющее большинство палеонтологов считает их остатками древнейших беспозвоночных, хотя мнение о систематическом положении многих видов варьирует очень широко. Эта неопределенность вызвана прежде всего странным обликом вендских организмов и необычным характером их сохранности — ведь окаменелости выполнены тем же осадком, что и вся порода. Чаще всего это песчаники и алевролиты.

«Странность» этих организмов, их несхожесть с более поздними животными, а также непостижимость того, как эти бесскелетные формы оставили объемные (трехмерные) слепки и рельефные отпечатки — все порождало сомнение: а животные ли они?

⁷ Seilacher A. Late Precambrian and Early Cambrian Metazoa: Preservational or real extinctions? // Patterns of change in Earth evolution. (Dahlem Konferenzen) / H.D.Holland, A.F.Trendall (eds). Heidelberg, 1984. P.159—168.

Дискуссия по этому поводу началась после публикаций А.Зейлахера (Университет Тюбингена, ФРГ) в 1984 г. о том, что эдиакарские окаменелости представляют вымершее царство организмов, которое было предложено назвать Вендозоа, а потом — Вендобионта⁸. Эти гигантские организмы (до метра длиной!) — сложно устроенные многоядерные простейшие, облаченные в прочную и эластичную мембрану, которая к тому же разделяла внутреннее пространство организма на множество камер. Питались они за счет поглощения растворенных в воде органических веществ, осуществляя газообмен тем же способом (это через прочную-то мембрану?!), и, возможно, за счет эндосимбиотических водорослей, и потому не имели никаких органов. Гипотезу о совершенно особой форме жизни широко подхватили журналисты и популяризаторы науки. Однако ее автор после значительных модификаций гипотезы фактически отказался от нее десять лет спустя и предложил рассматривать вендобионтов как родственную группу многоклеточных животных⁹. Но посеянные семена сомнения прорастают новыми гипотезами. В 1994 г. Г.Реталлак опубликовал статью о том, что эдиакарские организмы могли быть лишайниками¹⁰. Исследуется также возможность интерпретации этих древних форм в качестве водорослей. Но много ли мы знаем морских лишайников? И почему водоросли столь сложной морфологии неизвестны ни до вендского периода, ни в кембрии?

Ограниченный объем статьи не позволяет останавливаться на деталях критики гипотез вендобионт или лишайников. Вообще помещать все эдиакарские окаменелости в одну категорию или конструкционную мо-

⁸ Seilacher A. // *Lethaia*. 1989. V.22. P.229—239; Seilacher A. // *J. of the Geological Society of London*. 1992. V.149. P.607—613; Федонкин М.А. Новый взгляд на древнейших животных // *Природа*. 1990. № 5. С.116—117.

⁹ Buss L.W., Seilacher A. // *Paleobiology*. 1994. V.20. P.1—4.

¹⁰ Retallack G.J. // *Ibid*. P.523—544.

дель нельзя — в мире живого так не бывает. И среди вендских организмов, вероятно, были реликты еще более древних эпох протерозоя, чьи морфология и физиология сформировались в условиях другой, более архаичной биосферы. Но в венде, несомненно, существовали и предки фанерозойских групп беспозвоночных: число прямых подтверждений этому непрерывно растет.

Упомянутые выше гипотезы происходили из схематически упрощенных двумерных реконструкций вендских организмов и неверного представления о сложных, но постижимых тафономических процессах (тафономия — наука о формировании окаменелостей). Представление о том, что эти организмы были плоскими (чтобы иметь высокое отношение поверхности к объему) — ошибочно. Не только кимберелла, но и многие другие виды имели крупное тело и прочные, хотя и неминерализованные покровы. В изобретении вендобрионты и других экзотических царств, по-видимому, нет необходимости.

ЧЕРТЫ ГИПОТЕТИЧЕСКОГО ПРЕДКА

Но даже и среди тех, кто считает эдиакарские окаменелости остатками животных, диапазон противоречивых мнений о систематическом положении этих беспозвоночных достаточно широк. Помнится, в 1992 г., во время дискуссии на нобелевском симпозиуме «Ранняя жизнь на Земле», докладчиков просили ответить на вопрос: что такое дикинсония? Этот вендский организм до метра длиной сохраняется как овально-удлиненный билатеральный отпечаток с многочисленными ребрами, отходящими от срединной линии. Тогда было высказано шесть разных мнений о том, какой это тип животных, и одно — о том, что это вендобрионты.

Такое различие взглядов на природу вендских организмов отражает все еще низкую степень понимания функционального значения наблюдае-

мых признаков. «Винувато» в этом и несходство многих вендских организмов с кембрийскими и более поздними. Биосфера позднего протерозоя, действительно, была «экспериментальным цехом» эволюции, работавшим в авральном режиме (иначе так быстро не возникло бы огромного разнообразия форм жизни). В этом случае «брак» неизбежен — многие эволюционные ветви животных, видимо, давали своих монстров (хотя они скорее всего такими себя не считали). Лишь некоторым из них удалось проскользнуть через сито отбора в фанерозой и породить фантастическое разнообразие видов. Как пошутил один из коллег, поздний протерозой был временем безнадежных монстров. Подавала ли надежду кимберелла?

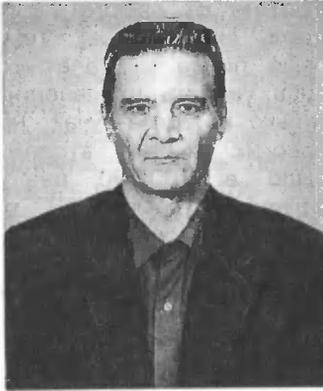
Моллюски (число их видов превышает 100 тыс.) — второй после членистоногих по разнообразию тип животных. Не может не удивлять, как эти в основном медлительные или даже неподвижные, мягкотелые животные «добились» такого результата. Из шести классов ныне живущих моллюсков меньше всего цефалопод, скафопод и моноплакофор (они особенно малочисленны), которых нередко сравнивают с гипотетическим предком.

Кимберелла, конечно же, не самый первый моллюск, но, безусловно, самый древний из известных ископаемых организмов, имеющих отношение к этому типу беспозвоночных. Некоторые признаки метамерии (сегментированности) в строении дорсо-вентральной мускулатуры, тонкая организическая (вероятно, гибкая) раковина простой щитовидной формы, обширные складки краевых частей ноги, увеличивающие поверхность для дыхания (а возможно, и для большего доступа к свету эндосимбиотических водорослей!), — все это может стать конкретными деталями к портрету гипотетического предка моллюсков обширной и успешно развивающейся ныне группы беспозвоночных.

Загадка небесных гамма-всплесков близка к решению

Б. А. Трубников

Наш журнал уже освещал на своих страницах загадочную проблему происхождения космических гамма-всплесков¹ (ГВ), однако весной прошлого года были сделаны новые кардинальные открытия в этой области, с которыми мы хотели бы познакомить читателей. Вернемся также вкратце к интерпретации зависимости $\log N - \log S$, проблему которой поднимают в своем письме наши читатели И.В. и С.И. Коновальцевы.



Борис Андреевич Трубников, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Российского научного центра «Курчатовский институт». Автор учебника «Теория плазмы» (1996), монографии «Квазигазовые неустойчивые среды» (1991).

НАПОМНИМ, что ГВ были впервые обнаружены в 1972 г., когда американские военные запустили спутник «Вела», предназначенный следить за тем, не испытывают ли русские тайным образом на своей территории атомные бомбы. Такой взрыв дает вспышку гамма-излучения, которую гамма-детекторы спутника в состоянии зафиксировать. Оказалось, что подобные вспышки длительностью около секунды происходят почти каждый день, но где именно — неясно. Дело в том, что жесткие гамма-кванты с энергией $10^5 - 10^6$ эВ легко проходят через тонкие металлические пластинки и попадают в детектор со всех сторон. Этим они отличаются от мягких квантов рентгеновского излучения (лучи с энергией $10^2 - 10^4$ эВ пронизывают человеческое тело, но не проходят, например, через монету), а также от квантов видимого света с энергией 0.1—10 эВ (например, кванты желтого участка спектра Солнца имеют энергию 0.5 эВ).

В последующие годы гамма-детекторы были установлены на многих спутниках, и с их помощью выяснилось, что точечные гамма-всплески вспыхивают равномерно-изотропно по всему небу; были измерены их энергетические

© Б.А.Трубников

¹ Постнов К.А. Земное эхо космических катастроф // Природа. 1996, № 6. С.80—85; Лукьянов С.Ю., Трубников Б.А. Плазменные пинчи на Земле и в космосе // Природа. 1997. № 2. С.5—14; Курт В.Г. Космические гамма-всплески — призраки в современной астрофизике // Природа. 1997. № 4. С.74—81.

спектры, а также найдены распределения по длительностям и по энергиям. Однако неизвестными оставались расстояния до источников ГВ и, следовательно, истинная величина выделяющейся в них энергии — ведь мы можем измерять лишь поток энергии, дошедший до Земли. Лет 20 считалось, что их краткость (бывают ГВ с длительностью в 0.001 с) свидетельствует о малых размерах источника, и подходящими кандидатами могли быть лишь невидимые непосредственно нейтронные звезды (потухшие пульсары диаметром около 10 км). Предполагалось, что ГВ возникает, когда какая-то масса из окрестности звезды падает на нее и на поверхности происходит быстрый взрыв: материя превращается в «кучу нейтронов» с выделением значительной энергии. Однако к 1990 г. стало ясно, что наблюдения не дают оснований для такой нейтронно-звездной модели; тогда были предложены другие гипотезы. Рассматривалась, например, возможность рождения ГВ при столкновениях комет на периферии Солнечной системы — где-то за Плутоном. В этом случае истинная энергия взрыва была бы сравнительно невелика. Однако проблема становится для астрофизиков буквально головной болью, если источники удалены на межзвездные, а тем более на межгалактические расстояния. В последнем случае истинная энергия ГВ становится почти сравнимой с энергией покоя Солнца $M_{\odot} \cdot c^2 = 2 \cdot 10^{54}$ эрг, и такая энергия должна выделяться за краткое время порядка секунды, притом в весьма малом объеме. Подобные процессы возможны при столкновении и слиянии двух нейтронных звезд, и нечто похожее, по-видимому, и происходит на самом деле.

В 1991 г. американцы запустили прибор BATSE, оснащенный гамма-детекторами, который к настоящему времени зарегистрировал уже более 1800 ГВ (российские ученые тоже записали около 300 ГВ); положение источника при этом определялось с точностью в несколько угловых градусов. В 1996 г. итальянцы вывели на орбиту спутник «Беппо» (названный так в память физика

Джузеппе Окиалини), несущий камеры уже двух типов — способные регистрировать гамма- и рентгеновские кванты.

И вот 28 февраля 1997 г. на этом спутнике широконаправленные камеры первого типа зарегистрировали 80-секундный гамма-всплеск из некоторого участка неба; затем более узконаправленные камеры второго типа в течение последующих 8 час подробно осматривали этот участок в надежде найти какие-либо следы бывшего ГВ и наконец зафиксировали остаточное послесвечение, которое, в отличие от самого ГВ, оказалось не столь скоротечным. Тем самым впервые после многолетних усилий удалось увидеть проявление всплеска не только в гамма-лучах, но и в рентгеновских. И хотя второе изображение было в 100 000 раз слабее, чем сигнал от самого ГВ, оно позволило определить положение источника гораздо точнее — в круге возможных ошибок с радиусом в 1 угл. мин.

Итальянские ученые немедленно отправили сообщение об этом быстро-затухающем явлении под грифом «Всемирно! Всемирно! Всемирно!». К сожалению, в нужный момент американский прибор BATSE находился на другой стороне Земли и «проспал» столь важное событие. В дальнейшем руководитель группы Дж.Фишман (G.Fishman) распорядился, чтобы никто из сотрудников ни на минуту не расставался с пейджером, который должен предупредить их о следующем ярком ГВ. Затем с помощью нового спутника «Росси» предполагалось обеспечить точную фиксацию его координат.

Когда экстренное сообщение от 28 февраля было получено в США группой BATSE в Хантсвилле (США), присутствовавший там Ж.Парадайс (J.van Paradijs) из Амстердамского университета позвонил в Амстердам и поручил одному из своих аспирантов предпринять поиск на радиотелескопе, расположенном близ города Вестерборка. Радиисточник в нужном месте не был обнаружен (и это тоже важный результат), однако, к счастью, другой аспирант реализовал возможность ис-

пользовать 4.2-метровый оптический Телескоп им.Гершеля на Канарских о-вах.

И вот через 21 час после самого ГВ группа Парадайса впервые получила точечное изображение его оптического послесвечения. Неделю спустя яркость источника ослабла настолько, что его уже не было видно ни в Телескоп им.Гершеля, ни в Телескоп новой технологии (ТНТ) в Андах, ни в 10-метровый Телескоп им.Кека на Гавайях. Но эти самые мощные наземные телескопы обнаружили протяженный объект, вероятно галактику, как раз в том месте, куда в первый раз был направлен Телескоп им.Гершеля. Наконец, 26 марта (почти через месяц) Космический телескоп им.Хаббла все еще смог различить точечное послесвечение, теперь уже в 100 раз бледнее первого снимка Телескопа им.Гершеля, и при этом было видно, что оно расположено вблизи края протяженного объекта, а не в его центре. 7 апреля точечный источник, ослабленный на 30%, все еще был виден в Хаббловский телескоп.

Заметим, что поиски оптических проявлений ГВ предпринимались и ранее. В частности, в России для этого использовался 6-метровый Большой азимутальный телескоп (БТА) на Северном Кавказе. Однако, как видно теперь, эти попытки предпринимались не «по горячим следам», а уже после того, как возможное оптическое послесвечение успевало полностью погаснуть.

Итак, 1 марта 1997 г. «лед тронулся», и все крупнейшие телескопы мира были приведены в состояние повышенной готовности. Вскоре затухающие точечные послесвечения в рентгеновских и в оптических лучах были открыты еще для нескольких ГВ, и после 25 лет ожиданий появилась какая-то надежда получить ответ на вопрос: где же они происходят? Большинство исследователей склонны считать, что очень далеко.

В частности, если обнаруженный Телескопом им.Хаббла протяженный

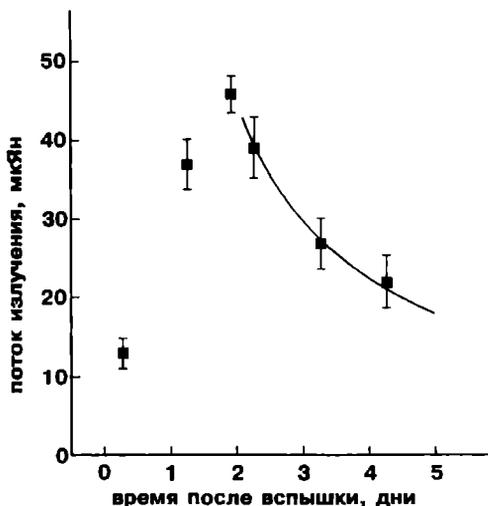


Рис. 1. Кривая изменения потока излучения (в красном участке спектра) как функция времени, прошедшего после начала ГВ 8 мая 1997 г., по данным с Паломарских телескопов ($1 \text{ Ян} = 10^{-26} \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц}$). Спад яркости после 10 мая согласуется со степенным законом $F \sim 1/t$, показанным сплошной линией.

объект окажется «хозяйской» галактикой для ГВ от 28 февраля, то такие всплески действительно происходят на космологических расстояниях и являются ярчайшими вспышками во Вселенной. С другой стороны, независимый анализ снимков этого телескопа, проведенный П.Каравео (P.Caraveo) с коллегами из Миланского университета, показал, что точечный оптический источник якобы сдвинут от одного снимка к другому, а это означает, будто он находится внутри нашей Галактики. Однако сотрудники, работающие с Хаббловским телескопом, отрицают наличие сдвига.

Наконец, достаточно яркий ГВ был зафиксирован приборами «Беппо» 8 мая 1997 г., и его небесные координаты вначале были определены грубо, а затем, через 5 час, уже более точно, о чем были срочно оповещены все астрономы. После этого к работе подключилось несколько групп исследователей на оптических телескопах, и 9–10 мая оптическая составляющая была зарегистрирована.

В частности, на 5-метровом Па-

² Schwarzschild B. // Physics Today. 1997. P.17–18.

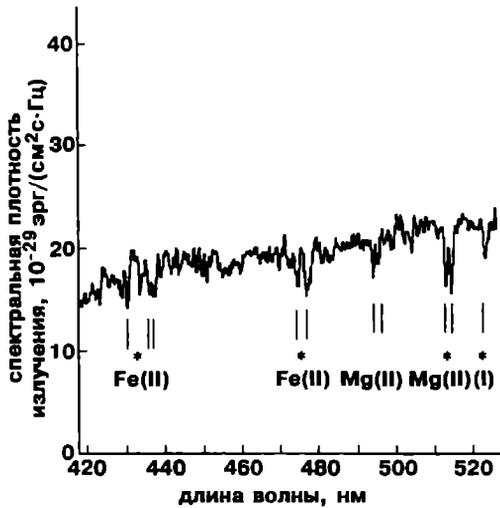


Рис. 2. Участок оптического спектра ГВ от 8 мая 1997 г. с 10 сильными линиями поглощения и указанием их идентификации. Восемь линий, обозначенных звездочками, отождествляются с поглощающей системой, имеющей красное смещение $z=0.835$, две остальные — с $z=0.767$.

ломарском телескопе первые наблюдения³ были проведены спустя 6 час после самого ГВ. Измерения амплитуд свечения проводились с фильтрами трех цветов «g-r-i» (g — зеленый с длиной волны $\lambda_g = 520$ нм; r — красный с $\lambda_r = 665$ нм; i — инфракрасный с $\lambda_i = 790$ нм (рис.1).

11—12 мая 1997 г. с помощью 10-метрового Телескопа им.Кека были впервые получены спектры оптического послесвечения ГВ от 8 мая. При этом использовался особый спектрограф (LRIS — Low Resolution Imaging Spectrograph) с полупроводниковой матрицей с зарядовой связью (ПЗС) из 2048×2048 элементарных ячеек, которые за 10 мин накапливали изображение для последующей обработки на компьютере. Спектрограф был настроен на область длин волн видимого света ($\lambda=385\text{--}855$ нм) с разрешением решетки в 300 линий/мм. Оказалось, что спектральная интенсивность потока излучения F

спадает приблизительно обратно пропорционально частоте ν .

Однако самым важным было то, что в области 430—530 нм на фоне общего непрерывного спектра исследователи заметили 10 линий поглощения⁴, которые, по их мнению, вызваны наличием ионов железа Fe(II) и магния Mg(II) в поглощающем облаке газа, расположенном на пути распространения лучей источника с исходно непрерывным спектром (рис.2).

При этом оказалось, что для правильного отождествления линий им нужно приписать красное смещение $z=(\lambda-\lambda_0)/\lambda_0=0.835$, свидетельствующее, как считают авторы, о большой удаленности поглощающего облака, а следовательно, и источника.

Значение $z=0.835$ соответствует расстоянию $R=5000$ Мпк; в этом случае можно оценить полную энергию ГВ в $7 \cdot 10^{51}$ эрг (при изотропности излучения). Приведенная интерпретация наблюдаемых фактов — сильный аргумент в пользу космологической удаленности ГВ и, значит, большой выделяющейся в них энергии. Обсудим, однако, ситуацию подробнее.

Открытие длительных послесвечений ГВ в рентгеновском и оптическом диапазонах, по-видимому, исключает как гипотезу их рождения на периферии солнечной системы, так и «нейтронно-звездный» вариант. Обнаружение большого красного смещения у линий поглощения для ГВ от 8 мая 1997 г. по существу оставляет для возникновения всплесков только области, удаленные на метагалактические расстояния. Как уже отмечалось, по данным Космического телескопа им.Хаббла, оптический точечный источник расположен определенно не в центре протяженного объекта (скорее всего, галактики), так что всплески, вероятно, не связаны и с черными дырами в центрах галактик.

По нашему мнению, утверждение, что z достигает больших значений, все же следует считать предварительным,

³ Djorgovski S.G. et al. // Nature. 1997. V.387. P.876—878.

⁴ Metzger M.R. et al. // Nature. 1997. V.387. P.878—880.

поскольку картина спектра не столь проста. Во-первых, в поглощающем облаке можно ожидать наличия каких угодно ионов (общее число ионов для всех элементов порядка 5000), что говорит о трудности идентификации линий. Во-вторых, авторы этой интерпретации вынуждены вводить дополнительную поглощающую систему со вторым красным смещением $z=0.767$. И в-третьих, в спектре отсутствуют линии поглощения лаймановской серии водорода, что заставляет авторов расширить область красных смещений до интервала $0.835 \leq z \leq 2.3$.

Картина быстрой гамма-вспышки с последующим рентгеновским и оптическим послесвечением достаточно хорошо согласуется с предложенной теоретиками моделью «огненный шар» (fireball). Она предполагает возможность быстрого (за 1–100 с) слияния пары нейтронных звезд, при котором в начальный момент в малом объеме сосредоточено много фотонов и частиц — электронов, позитронов и барионов. На первом этапе концентрация частиц столь велика, что излучение оказывается запертым внутри объема, и столкновения фотонов друг с другом порождают электрон-позитронные пары в реакциях $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$; высочайшее внутреннее давление при этом ведет к быстрому расширению шара. Из-за этого концентрация частиц уменьшается, и фотоны вырываются наружу, что предположительно и соответствует короткой стадии испускания гамма-лучей. На втором этапе разлетающиеся быстрые частицы-барионы пронизывают межзвездный газ, нагревая его и, видимо, вызывая рентгеновское и оптическое послесвечение. Однако было отмечено, что теория «огненного шара» предсказывает слишком быстрое начало оптического послесвечения, тогда как в ГВ от 8 мая 1997 г. оптическая составляющая нарастала в течение первых двух дней, а затем убывала обратно пропорционально времени.

Тем не менее возникают вопросы: как часто возможны слияния нейтронных звезд с образованием «огненных

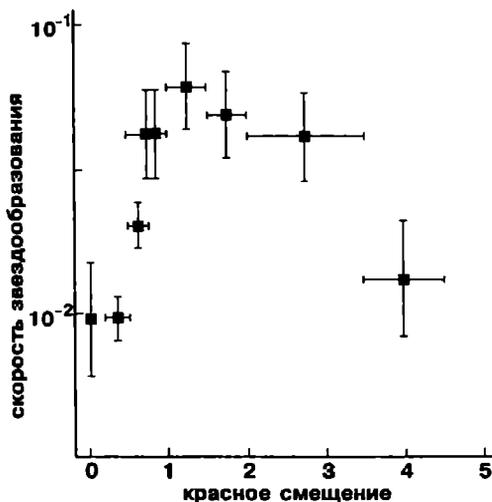


Рис. 3. История рождения звезд во Вселенной. Скорость звездообразования указана в единицах солнечных масс за год в кубическом мегапарсеке. Отдельные точки получены из недавних обзоров неба, которые, взятые вместе, покрывают 80–90% полного времени существования Вселенной.

шаров»? Почему такая стадия эволюции материи происходила в далеком прошлом, которому соответствуют большие значения красных смещений $z \sim 1$? Считается, в частности, что в нашей Галактике имеется 10^{11} обычных звезд, 10^9 нейтронных звезд и всего лишь 6 нейтронных пар, так что образование пар — очень редкое событие. Фактически природа «огненных шаров» неизвестна и не обязательно связана с нейтронными звездами. Возможно, частичным ответом здесь могут служить недавно полученные сведения о скорости рождения звезд в прошлой истории Вселенной⁵ (рис.3).

Из рис.3 видно, что звезды наиболее интенсивно рождались в эпоху, соответствующую $z \approx 1-2$. Не исключено, что тогда же во множестве возникали и близкие пары нейтронных звезд, которые достаточно быстро теряли энергию взаимного обращения из-за излучения гравитационных волн, что вскоре приводило к их слиянию и

⁵ Abraham R. // Nature. 1997. V.387. P.850–851.

рождению «огненного шара», вызывавшего ГВ.

Важно, что большие z позволяют объяснить сразу два наблюдаемых факта: во-первых — изотропное распределение ГВ по небу, поскольку в больших космологических расстояниях Вселенная изотропна, и во-вторых — кажущееся неоднородное распределение вспышек по расстояниям до них, поскольку при больших z уже проявляется расширение Вселенной. Эти соображения, а также и тот факт, что продолжительность гамма-микровсплесков — порядка миллисекунд, можно считать главными аргументами в пользу феноменологической теории ГВ как «файрболов».

В ней не рассматривается трудный вопрос о начальной стадии всплесков, а просто предполагается, что в малом объеме с радиусом $r_0 \sim 10-100$ км за время около $t_0 \sim 1$ с выделяется огромная энергия порядка $E_0 \sim 10^{51}$ эрг, в основном в виде фотонов. Из-за рождения множества электрон-позитронных пар слой, прилегающий к границе начального объема r_0 , становится непрозрачным для фотонов и поэтому под действием светового давления разлетается с ультрарелятивистской скоростью. При этом, однако, расширяющийся поток адиабатически охлаждается, число рождающихся пар уменьшается, и, начиная с некоторого «радиуса фотосферы» r_f , слой делается прозрачным: фотоны вырываются наружу. На этой стадии барионы не играют важной роли, но они ускоряются до ультрарелятивистских скоростей и даже при малом количестве, по-видимому, играют основную роль на второй стадии — послесвечения при их взаимодействии с межзвездным газом.

Отметим некоторые трудности модели расширяющегося «файрбола». В ней граница фотосферы r_f , с которой начинается прозрачность, должна, очевидно, излучать как абсолютно черное тело, чего в действительности не наблюдается. Расхождение, видимо, можно уменьшить или устранить, если в области $r \geq r_f$ учесть

обратный комптон-эффект передачи энергии от электронов к фотонам с уширением их первоначального «чернотельного» спектра. Особая забота в гипотезе «файрбола» — теоретически избавиться от спектральной линии, соответствующей аннигиляции электрон-позитронных пар, поскольку на самом деле она не наблюдается в спектре, тогда как в теории «файрбола» этот процесс (как и обратный) является основным.

Однако, по нашему мнению, существует и другая возможность интерпретации больших z в оптическом послесвечении ГВ (если дальнейшие эксперименты этот факт подтвердят): значительное красное смещение может возникать не только при большой — космологической — удаленности объекта, но и просто из-за наличия сравнительно небольшой (слаборелятивистской) скорости удаления от нас облака газа, частично поглощающего лучи источника. Рассмотрим эту возможность.

Напомним, что авторы упомянутой интерпретации приписывают поглощение именно ионам; возможность же генерации пучков ионов и электронов в ГВ рассматривается в «пинч»-гипотезе их рождения⁶. В ней предполагается, что гамма-всплески представляют собой узконаправленное тормозное излучение ультрарелятивистских пучков электронов. Можно думать, что на Земле регистрируются тормозные гамма-кванты только от пучков, летящих почти точно в ее направлении, тогда как при других направлениях лучи практически к нам не попадают. А для каждого регистрируемого ГВ должен возникнуть узконаправленный пучок положительных ионов — в том числе, возможно, Fe(II) и Mg(II), — двигающихся навстречу электронам, т.е. от Земли. Можно предположить, что поглощение лучей в удаляющемся облаке этих ионов и проявляется в виде отдельных линий поглощения в наблюдаемом спектре, который исходно был непрерывным.

Если считать, что красное смещение z обусловлено лишь эффектом

⁶ Трубников Б.А. // Успехи физ. наук. 1997. Т.167. № 3. С.345—352.

Допплера, то вычисленная по релятивистской формуле $v/c = [(1+z)^2 - 1] / [(1+z)^2 + 1]$ скорость удаления пучка ионов v для $z=0.835$ составляет $\sim 160\,000$ км/с. По нашему мнению, такие слабoreлятивистские скорости движения основной массы ионов, ускоренных в обрывающихся плазменных пинчах, можно считать допустимыми. Например, вблизи некоторых звезд наблюдаются струи плазмы (джеты) с $v \sim 80\,000$ км/с.

Начальная стадия формирования предполагаемых пучков частиц в «пинч»-гипотезе более проста и наглядна, чем в модели «файрболов». Заключительные же стадии, с которыми можно попытаться связать послесвечения ГВ, практически одинаковы в этих двух гипотезах. В обоих случаях можно предполагать, что послесвечение обусловлено взаимодействием быстрых ионов, родившихся в ГВ, с межзвездным или межгалактическим газом. Однако в теории «файрбола» газ, дающий послесвечение, никак не связан с поглощающей системой, которой могло и не быть на пути лучей, а тогда не было бы и возможности зарегистрировать красное смещение.

Иная ситуация предполагается в «пинч»-гипотезе, где теория предсказывает образование двух групп ускоренных ионов: первой, сравнительно медленной, и последующей, более быстрой. Эта вторая группа ультрарелятивистских ионов должна иметь распределение по энергиям в области $E \leq E_{\max}$ вида $dN/dE \sim 1/E$, и при столкновениях с межзвездным газом ионы должны порождать тормозные фотоны с непрерывным спектром того же вида $F \sim 1/v$. Примерно такой спектр и наблюдался в оптическом послесвечении ГВ 8 мая 1997 г. В рамках «пинч»-гипотезы появление линий поглощения разумно объяснить тем, что область послесвечения, создаваемого удаляющимся (от Земли) пучком быстрых ультрарелятивистских ионов, расположится дальше, чем движущееся след за ней облако медленных (по-видимому, слабoreлятивистских) ионов первой группы. Они и могут давать отдельные линии спектра по-

глощения проходящих лучей от более удаленной области послесвечения: на этих лучах и должно сказываться чисто доплеровское красное смещение. Однако в рамках «пинч»-гипотезы трудно объяснить наблюдавшуюся резкость, т.е. малую ширину линий поглощения, поскольку скорости ионов в поглощающем облаке скорее всего не одинаковы и имеют значительный разброс.

Конечно, при космологическом красном смещении, обусловленном хаббловским расширением Вселенной, линии поглощения должны быть весьма узкими, если поглощающее облако не является остатком самого ГВ, разлетающимся с релятивистскими скоростями, а представляет собой независимую систему без значительных (слабoreлятивистских) внутренних движений.

Будем надеяться, что начатые с весны 1997 г. исследования оптических послесвечений гамма-всплесков скоро приведут к пониманию природы этих, по-видимому, самых ярких вспышек во Вселенной.

Post scriptum. Летом редакция получила письмо от внимательных читателей И.В. и С.И. Коновальцевых. Они пишут, что в ранее опубликованных в «Природе» статьях о ГВ не говорится о возможности объяснить наблюдаемую зависимость $\log N - \log S$ за счет красного смещения. По мнению Коновальцевых, такая интерпретация свидетельствует о космологической удаленности источников ГВ. Упрек наших читателей не вполне справедлив, поскольку в статье К.А.Постнова прямо сказано, что «даже в рамках стандартной космологической модели удастся объяснить характер наблюдаемой кривой $\log N - \log S$ ». Видимо, следовало затронуть проблему подробнее; мы благодарим Коновальцевых за их замечание и постараемся сделать это сейчас.

Напомним, что зависимость $\log N - \log S$ называют построенный в логарифмических координатах график числа ГВ N с потоком энергии выше S (рис.4). Вид этой зависимости можно определить из следующих простых соображений. При плотности n_0 число источников в шаре радиуса R равно

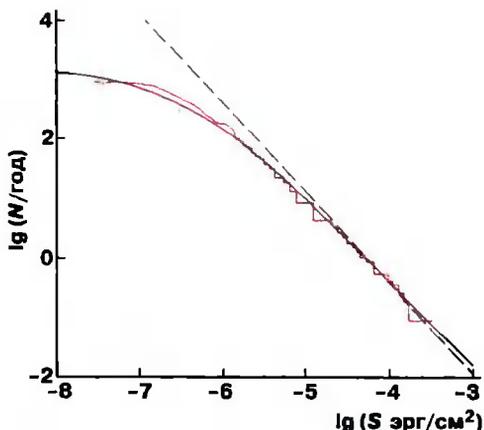


Рис. 4. Экспериментальная (цветная линия) и теоретическая зависимости $N(S)$. Пунктирная прямая соответствует закону $N(S) \sim S^{-3/2}$.

$N = (4/3)\pi R^3 n_0$, и если в каждом выделяется энергия E_0 , то поток равен $S = E_0/4\pi R^2$. Исключив радиус R , найдем $N(S) = c_0 S^{-3/2}$, где $c_0 = n_0 E_0^{3/2}/6\sqrt{\pi} = \text{const}$, т.е. $\log N = \text{const} - 1.5 \log S$. Такая зависимость действительно наблюдается, но только в области достаточно больших потоков. Для числа источников со слабыми потоками энергии налицо отклонение от прямой (левая часть графика). Однако это отклонение вполне удается объяснить.

Действительно, при рассмотрении больших, космологических масштабов необходимо учитывать хаббловское разбегание всех объектов Вселенной, а также отличие ее метрики от евклидовой. В этом случае можно воспользоваться формулой⁷, полученной еще в 1975 г., которую удобно записать в форме с поправочным множителем $N = c_0 S^{-3/2} \xi$, где $\xi = (1 + 0.5x + 0.1x^2)(1+x)^{-5}$, $x = \sqrt{S^*/S}$. Эта функция также изображена на рис. 4 при выбранных нами постоянных $c_0 = 5 \cdot 10^{-7}$, $S_* = 10^{-7}$ и, как видим, близка к экспериментальной зависимости. Поясним, что в общую теорию входит еще и отношение $\Omega = \rho_{\text{наб}}/\rho_{\text{кр}}$ наблюдаемой плотности к критической, которое мы для простоты положили равным 1, а для других значений требуются

численные расчеты, дающие, однако, близкие результаты.

Учет красного смещения, таким образом, позволяет объяснить наблюдаемую зависимость $N(S)$ с дефицитом слабых ГВ. Тем не менее этот теоретический аргумент долгое время не рассматривался как однозначное доказательство космологической удаленности источников ГВ, поскольку в принципе не исключены и другие причины указанного дефицита. Например, возможно поглощение лучей далеких источников космической пылью или просто уменьшение их числа к краю нашей Галактики, если бы они располагались в ее гало.

Дополнительно сообщим, что послесвечение ГВ от 8 мая наблюдалось тем же 10-метровым Телескопом им. Кека также и в июне. При этом за 30 мин наблюдений был получен спектр, где видна, в частности, эмиссионная линия, идентифицированная авторами как линия излучения иона кислорода $O(II)$ с тем же самым красным смещением $z = 0.835$, которое ранее было найдено и по линиям поглощения на ионах железа $Fe(II)$. Однако линейчатое излучение столь мало, что оно может быть обусловлено и самой хозяйской галактикой, имеющей слабый непрерывный спектр. Кроме того, в сентябре появились сообщения о наблюдении в течение трех месяцев послесвечения того же ГВ в радиодиапазоне. В отличие от монотонно спадавших рентгеновского и оптического излучений радиосигнал обнаружил на фоне общего спада несколько всплесков. По мнению исследователей, это говорит о неоднородности распределения межзвездной материи, которую нельзя увидеть какими-либо другими способами.

В последние месяцы было зарегистрировано оптическое послесвечение и для ряда других ГВ, однако линий в их спектрах выделить не удавалось, и, таким образом, оптический спектр ГВ, происшедшего 8 мая 1997 г., остается пока единственным, в котором были обнаружены линии и соответственно определено красное смещение.

⁷ Усов В.В., Чибисов Г.В. // Астрон. журн. 1975. Т. 52. № 1. С. 192.

Химический состав и внутреннее строение Луны

О. Л. Кусков



Олег Львович Кусков, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией термодинамики и математического моделирования природных процессов Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Автор многочисленных научных статей и монографии «Термодинамика и геохимия ядра и мантии Земли» (совместно с Н.И. Хитаровым). М., 1982.

ЛУНА знакома всем: на нее любят смотреть, о ней пишут стихи, спорят о происхождении. Там есть «моря» и «континенты». Там побывали люди — привезли образцы лунного грунта. А вот что такое Луна — «дочь» матери Земли или захваченное небесное тело? Почему Земля, обладающая спутником, имеет гидросферу, а Венера — близкая к ней по своим размерам, но без спутника, — таковой не имеет? Мы знаем, что у планет земной группы, Луны и метеоритов разных классов заметно колеблется химический состав и особенно сильно отличается по содержанию железа. Крайние пределы отношения содержания железа к кремнию представляют собой составы Луны и Меркурия (что объективно вытекает из сравнения их средней плотности). Но вот тайна рождения Луны и ее химический состав никому не известны. Отсутствие ясности в этой проблеме не позволяет говорить о генетической связи между лунным и земным веществом и не дает возможности сделать обоснованные заключения о процессе формирования нашего спутника. За последнюю четверть века появилось огромное число публикаций о составе Луны¹. Писала об этом и «Природа»².

Геохимические исследования вещества Земли и Луны указывают на

© О.Л.Кусков

¹ Виноградов А.П. Дифференциация вещества Луны // Космохимия Луны и планет. М., 1975. С.5—28; Флоренский К.П., Базилевский А.Т., Бурба Г.А. и др. Очерки сравнительной планетологии. М., 1981; Рингвуд А.Е. Происхождение Земли и Луны. М., 1982; Taylor S.R. Planetary Science: A Lunar Perspective. Houston, 1982.

² См. напр.: Корина М.И. Лунные горные породы // Природа. 1995. № 3. С.66—75; Николаева О.В. Земля для Луны — прошлое, Луна для Земли — будущее // Там же. № 10. С.13—25.

идентичный характер фракционирования изотопов кислорода в системе ^{16}O — ^{17}O — ^{18}O , но на разную степень обедненности летучими и сидерофильными элементами. Существуют различные модели состава Луны: от подобного ультраосновному веществу верхней мантии Земли, до резко обогащенного Са и Al и подобного высоко-температурным включениям в углистом хондрите Allende. Таким образом, принципиально важный для геохимии Луны и Земли вопрос о сходстве или различии их состава остается без ответа. Но, оказывается, ключ к распознаванию химии лунных недр можно попытаться отыскать в ее сейсмическом строении. Иначе говоря, геохимическую информацию необходимо дополнить геофизическим материалом.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛУННЫХ НЕДР

Радиус Луны равен 1738 км, а давление в ее центре составляет всего 47 кбар (для Земли это соответствует глубинам ~150 км). Величина безразмерного момента инерции Луны ($I/MR^2=0.3905$) говорит о том, что ее плотность практически постоянна или возрастает с глубиной всего на несколько процентов. Значение средней плотности равно 3.3437 г/см^3 . Обработка результатов выдающегося сейсмического эксперимента, проводившегося в ходе экспедиций «Аполлон», привела к крайне необычной интерпретации строения лунных недр³. Сейсмические станции регистрировали естественные (удары метеоритов, землетрясения) и искусственные (падения частей космических аппаратов) события. По геофизическим данным Луна подразделяется на кору со средней мощностью 58 км, верхнюю (58—270 км), среднюю (270—500 км) и нижнюю (от 500 км) мантию и, возможно, ядро. По крайней мере до глубин 1000—1200 км недр Луны

остаются твердыми, поскольку они пропускают как продольные Р-, так и поперечные S-волны. Высокие значения фактора добротности и существование лунотрясений говорят о том, что мантия Луны не содержит рассеянных включений расплава и имеет температуру ниже солидуса.

На границах кора — верхняя мантия и средняя мантия — нижняя мантия скорости упругих волн скачкообразно возрастают, в то время как на границе верхняя мантия — средняя мантия они скачкообразно уменьшаются, образуя на глубинах 270—500 км ярко выраженную зону пониженных скоростей. Эта область по своим сейсмическим характеристикам существенно отличается от земной астеносферы и является специфической особенностью строения Луны. Другая интригующая загадка Луны связана с проблемой существования ядра. К сожалению, наличие ядра не отвергается, но и не доказывается имеющимся у геофизиков материалом: его состав и размеры остаются неясными.

ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ

Для решения проблемы определения химического и минерального состава Луны существует следующая достоверная информация, полученная из данных астрономических, геохимических и геофизических наблюдений: величина массы, радиуса, средней плотности, момента инерции; скорости распространения сейсмических волн; химические и изотопные анализы земных пород, метеоритов и поверхностных пород Луны.

Сформулируем необходимые условия, разъясняющие суть настоящего подхода⁴. Химический состав протолунного вещества определяется физико-химическими и механическими процессами в протопланетной туманности (или, возможно, в недрах Земли и затем в протолунном диске), вообще говоря, неизвестными. Минеральные ассоциа-

³ Nakamura Y. // J. Geophys. Res. 1983. V.88. P.677—686.

⁴ Kuskov O.L. // Phys. Earth Planet. 1997. V.102. P.239—257.

ции, образующиеся при конденсации и (или) нагреве первичного вещества, формировали в результате процессов аккреции вещество будущего спутника Земли, которое претерпевало дальнейшие фазовые превращения в его недрах. Это преобразованное под действием высоких температур и давлений вещество соответствует химическому и минеральному составу современной Луны и задает среднюю плотность, массу и момент инерции, а также распределение скоростей упругих волн в ее оболочках, фиксируемое сейсмическими методами.

Поскольку физико-химические свойства минералов известны из экспериментов, то основная задача настоящего исследования сводится к моделированию химического состава мантийных оболочек Луны, установлению изменения температуры с глубиной и определению радиуса ядра (если оно существует), используя совокупность геофизических ограничений, к которым относятся масса, момент инерции и сейсмические профили скоростей распространения продольных и поперечных волн. Если в результате решения такой задачи химический состав Луны станет известным, то это позволит перейти к поиску объектов Солнечной системы, удовлетворяющих геохимическим ограничениям на содержание основных химических элементов. В случае решения этой проблемы может быть получена модель формирования протолунного вещества, способная объяснить основные геохимические и геофизические черты состава и строения Луны.

Физические свойства оболочек планеты зависят от химического и фазового состава, поэтому в основе расчета профилей сейсмических свойств и плотности должны лежать фазовые диаграммы мантийного вещества, слагающего планету и определяющего ее современное физическое состояние. Состав мантии моделируется в рамках системы $\text{CaO}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, охватывающей ~99% массы Луны и включающей фазы постоянного и переменного состава: минералы группы Al_2SiO_5 ; поле-

вой шпат (анортит $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$); бинарные растворы оливина $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ и шпинели $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$; тройной раствор гранатов (пироп—альмандин—гроссуляр); многокомпонентные растворы орто- и клинопироксенов $(\text{MgSiO}_3, \text{FeSiO}_3, \text{Ca}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{SiO}_3, \text{Ca}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{SiO}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$. Согласование известных (наблюдаемых) и рассчитываемых геофизических характеристик (скоростей упругих волн, момента инерции и массы) осуществлялось на основе программного комплекса «Thermoseism», включающего базы термодинамических данных и программы расчета равновесий методом минимизации свободной энергии Гиббса и позволяющего рассчитать равновесный минеральный состав многокомпонентной смеси, вычислить ее плотность, скорости объемных волн и получить петролого-геофизические ограничения на валовый химический состав мантии.

Методика определения химического и фазового составов любой зоны мантии, а также расчета ее физических свойств состоит из двух этапов, заключающихся в решении прямой и обратной задач⁵. Сначала определяются сейсмически допустимые пределы концентраций основных породообразующих элементов (т.е. валовый химический состав) на основе жестких геофизических ограничений (обратная задача). А затем производится расчет минеральных равновесий и профилей упругих свойств и плотности (прямая задача) на основе самосогласованных термодинамических свойств минералов и выведенных ограничений на химический состав. В результате окончательного решения получаем геохимико-геофизическую модель Луны: химический и фазовый составы, профили температуры, плотности, а также размеры ядра.

ОТ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ К ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ

Серия численных экспериментов приводит к выводу о стратификации

⁵ Кронрод В.А., Кусков О.Л. // Геохимия. 1997. № 2. С.134—142.

Таблица 1

Химический состав (мас.%) и некоторые физические свойства мантии Луны, рассчитанные по разным моделям

Оболочка	H, км	T, °C	ρ , г/см ³	V_p , км/с	V_s , км/с	SiO ₂	FeO	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
Кора (по Taylor S.R., 1982)						45.5	6.5	7.0	16.0	25.0
Мантия:										
верхняя	58— 270	420—	3.244— 3.260	7.68— 7.67	4.49— 4.48	56.0	8.0	30.5	2.5	3.0
средняя	270— 500	800— 1000	3.398— 3.404	7.50— 7.54	4.29— 4.28	52.5	17.5	24.5	2.5	3.0
нижняя	500— 1262	1000— 1350	3.410— 3.418	8.26— 8.32	4.60— 4.57	44.0	9.5	32.0	6.0	8.5
Вся мантия						50.3	11.2	29.4	3.9	5.2
Кора+верхняя мантия						53.6	7.7	25.2	5.5	8.0
Кора+верхняя+средняя мантия						53.2	11.5	24.9	4.4	6.0
Кора+мантия						49.9	10.8	27.5	4.9	6.9
Кора+мантия (по Taylor S.R., 1982)						43.9	13.1	32.3	4.6	6.1
Кора+мантия (по Рингвуд А. Е., 1982)						45.1	14.1	32.9	3.7	4.2
Кора+мантия (по Jones J. H. De-lana J. W., 1989)						46.1	12.6	35.0	2.8	3.5
Кора+мантия (по O'Neill H. St.C., 1991)						44.9	12.5	35.3	3.3	4.0

Таблица 2

Минеральный состав мантии Луны (мол.%)

Состав	Мантия					
	верхняя		средняя		нижняя	
	58 км	270 км	270 км	500 км	500—1262 км	
Анортит	2.1	0.0				
Кварц	0.0	2.0				
Ортопироксен	92.8	91.8	94.4	96.8		
Клинопироксен	5.1	6.2	2.5	0.0		35.5
Оливин			2.5	2.5		51.5
Гранат			0.6	0.7		13.0

Луны по химическому составу и о явном различии состава пород Земли и ее спутника. Концентрации окислов в мантийных резервуарах приведены в табл.1. Валовый химический состав силикатной оболочки Луны в целом (кора+мантия) представляется следующим (мас.%): $4 < \text{CaO} < 5$, $5.5 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 7$, $10 < \text{FeO} < 12$, $27 < \text{MgO} < 29$, $48 < \text{SiO}_2 < 51$. Сопоставление рассчитанных профилей

скоростей упругих волн с данными сейсмических наблюдений позволяет дать последним петрологическую интерпретацию, а аномалии в их поведении связать с конкретными фазовыми (без изменения валового состава) или химическими (с изменением состава) превращениями. Тем самым мы получаем представление о минеральном строении недр Луны (табл.2).

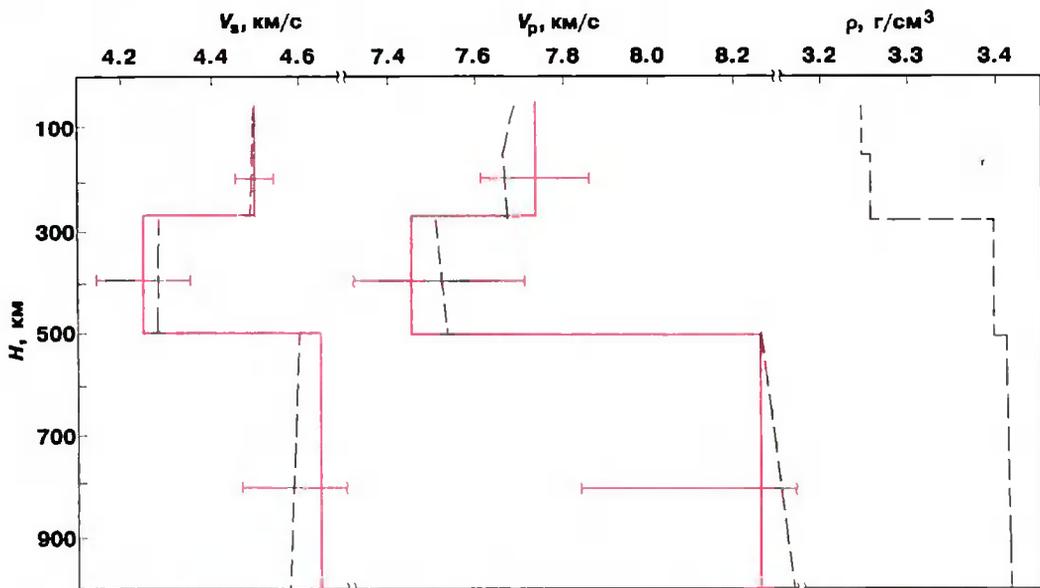


Рис. 1. Сейсмическая структура мантии Луны. Рассчитанные профили (показано пунктиром) плотности (ρ) и скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн сопоставлены с данными сейсмических наблюдений (цветные линии, горизонтальные отрезки — погрешность в определении сейсмических скоростей). Скорости сейсмических волн в средней мантии существенно меньше, чем в верхней и нижней. Столь ярко выраженная аномалия сейсмических свойств, не характерная для мантии Земли, может быть связана с зональными вариациями химического состава мантии Луны.

На рис.1 приведена иллюстрация такого сопоставления. Интересно отметить две особенности в структуре профилей. Профили скоростей и плотности имеют антикорреляционное поведение: на границе верхняя мантия — средняя мантия (270 км) наблюдается резкое понижение скоростей упругих волн, в то время как плотность испытывает заметный положительный скачок. Напротив, на границе средняя мантия — нижняя мантия (500 км) при практически неизменной плотности скорости упругих волн скачкообразно возрастают. В верхней мантии топология рассчитанных скоростных профилей (рис.1) имеет более сложный характер, нежели наблюдаемая, из-за фазовых превращений, происходящих с ростом глубины и формирующих

минеральное строение верхней мантии (рис.2). В структуре скоростных профилей верхней мантии, обогащенной кремнеземом (56% SiO_2), можно выделить две градиентные зоны, разделенные фазовым переходом, со слабым изменением упругих и плотностных свойств на глубинах 80—130 км. Эти изменения обусловлены фазовыми превращениями минералов при переходе из области устойчивости плагиоклазового пироксенита в область устойчивости кварцевого пироксенита, причем содержание свободного SiO_2 может достигать 2 мол.% (рис.2). Следовательно, можно предположить, что верхняя мантия Луны представляет собой практически однородную зону пироксенитового состава, в которой отсутствует контрастная химическая зональность.

Верхняя мантия обогащена кремнеземом и обеднена закисным железом по отношению к средней мантии, в то время как средняя мантия обогащена SiO_2 и FeO по сравнению с нижней мантией Луны; содержания Al_2O_3 и CaO в верхней мантии равны (или на 10—30% ниже) их содержанию в средней мантии и по крайней мере вдвое меньше, нежели в нижней (табл.1). По-видимому, в ходе своей эволюции Луна претерпела резкую

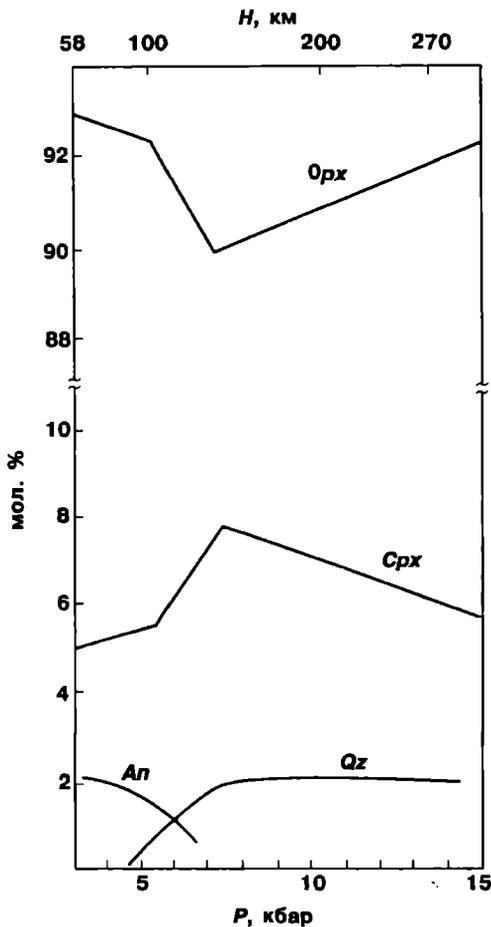


Рис. 2. Минеральный состав верхней мантии Луны. При фиксированном химическом составе происходят следующие фазовые превращения: ортопироксен + клинопироксен + анортит \rightarrow (80 км, 480°С) \rightarrow ортопироксен + клинопироксен + анортит + кварц \rightarrow (130 км, 610°С) \rightarrow ортопироксен + клинопироксен + кварц; ортопироксен остается доминирующим минералом верхней мантии. Орх — ортопироксен, Срх — клинопироксен, Ал — анортит, Qz — кварц.

дифференциацию, что отражается как в структуре сейсмических профилей, так и в стратификации мантии по химическому и минеральному составу. Результаты моделирования показывают, что одним лишь изменением температуры (резким повышением в средней мантии и столь же резким уменьшением в нижней) невозможно объяснить геофизически наблюдаемое

строение лунных недр. Аномалии сейсмических свойств в зоне низких скоростей скорее всего связаны не с аномалиями теплового режима, а с зональными вариациями химического состава пород. Специфику средней мантии можно объяснить повышенным содержанием железа по отношению к выше- и нижележащим оболочкам, что приводит к резкому уменьшению скоростей упругих волн в области глубин 270—500 км и их скачкообразному изменению на геофизических границах. Средняя мантия Луны имеет состав оливнивого пироксенита (табл.2).

Эти выводы дополняют как экспериментальные данные по фазовым соотношениям, так и результаты петрографо-минералогического анализа ряда лунных базальтов, в которых отчетливо выделяются две группы: кремнезем-обогащенные и оливин-содержащие базальты. Предполагается, что первые образовались из магматического резервуара на глубинах около 200 км, а вторые — 300—500 км. Выделение двух типов базальтов указывает лишь на возможность их образования из разных источников и на разных глубинах и, разумеется, не исчерпывает все имеющееся разнообразие химических типов лунных базальтов. Все это говорит о различии вещественного состава между пироксенитовыми (существенно пироксеновыми ультраосновными) породами верхней и средней мантии Луны и перидотитовыми (существенно оливнивыми ультраосновными) породами верхней мантии Земли.

Породы нижней мантии Луны, простирающейся от 500 км до границы с ядром, отличаются по химическому составу как от пород вышележащих оболочек, так и от состава земных пород. Необычность состава — в обогащении тугоплавкими элементами, что не свойственно ультраосновным породам мантии Земли. Концентрации CaO и Al₂O₃ достигают 6—8 мас.%, что, как уже отмечалось, в 2—3 раза выше их распространенности в земной мантии. Если нижняя мантия не подвергалась проплавлению и диффе-

ренциации, то ее состав должен отражать состав первичного вещества Луны. На глубинах 500—1260 км устойчивыми минералами становятся оливин, клинопироксен и гранат (табл.2).

Подытожим полученные данные по составу мантийных оболочек и дадим оценку химического состава силикатной оболочки Луны в целом (табл.1). Состав коры принят по данным С.Р.Тейлора хотя, по последним результатам обработки измерений с космического аппарата «Клементина», не исключены некоторые изменения в определении коровых концентраций породообразующих элементов. Расчеты химического состава Луны, основанные на геофизических ограничениях, приводят к заметным отличиям от геохимических оценок предыдущих исследований, как в отношении концентрации тугоплавких элементов (различия доходят до 100%), так и в отношении содержаний SiO_2 и MgO . Выведенные здесь концентрации тугоплавких окислов ближе соответствуют моделям составов, обогащенных Al_2O_3 (6—8%) и CaO (4.5—6%), нежели моделям, имеющим пиролитовый состав (гипотетические породы пироксен-оливинового состава)⁶. Вероятная причина столь заметных расхождений с предыдущими оценками может заключаться в неоправданных экстраполяциях отношений петрогенных элементов (Fe/Si, Mg/Al и др.) и составов поверхностных лунных пород на Луну в целом. Разумеется, степень достоверности ее такого уникального состава практически целиком определяется надежностью сейсмологической информации. Очевидно, что последняя может восприниматься с определенной долей скептицизма и, безусловно, должна быть подтверждена новыми космическими экспериментами.

Геохимическая модель внутреннего строения Луны, согласованная с геофизическими данными, позволяет с

достаточной уверенностью сделать вывод о существовании ядра с «оптимальным» радиусом 300—400 км для Fe-ядра и 480—600 км для FeS-ядра и составляющим 1—3% и 3—6% от массы Луны соответственно. Таким образом, если ядро существует, то оно имеет сравнительно небольшие размеры и массу, уступающие в «прокрустово ложе» геофизических ограничений, и может быть как железным, так и железо-сульфидным (или представлять некоторую смесь состава Fe-FeS). Поэтому его наличие практически не влияет на расчеты химического состава силикатной оболочки, но приобретает значение важнейшего критерия для понимания механизма формирования Луны⁷. Существование ядра согласуется с геофизическими данными по лунному магнетизму и затуханию сейсмических волн в центральных областях Луны. Отсутствие лунотрясений на глубинах более 1100 км (примерная граница жесткой мантийной оболочки и пластического материала ядра⁸) может иметь важное дополнительное доказательство наличия ядра.

ЛУНА МОГЛА ОБРАЗОВАТЬСЯ ИЗ МАНТИИ ЗЕМЛИ?

Геохимические критерии в отношении распространенности целого ряда элементов свидетельствуют как за, так и против формирования Луны из мантии Земли. Луна очень сильно обеднена летучими элементами по сравнению с земной мантией. Земля и Луна имеют весьма близкие содержания V, Cr, W, Co и Mn, но отличаются по распространенности P и Ni и особенно резко — Mo, Au и Re (в 25—100 раз).

Из сопоставления литературных данных по составу земного и метеоритного вещества можно сделать вывод, что химический состав Луны не

⁶ Jones J.H., Delano J.W. // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1989. V.53. P. 513—527; O'Neill H.St.C. // *Ibid.* 1991. V.55. P.1135—1157.

⁷ Галимов Э.М. Проблема происхождения Луны // Основные направления геохимии. К 100-летию академика А.П. Виноградова. М., 1995. С.8—43.

⁸ Авсюк Ю.Н. // Докл. АН СССР. 1983. Т.268. С.51—55.

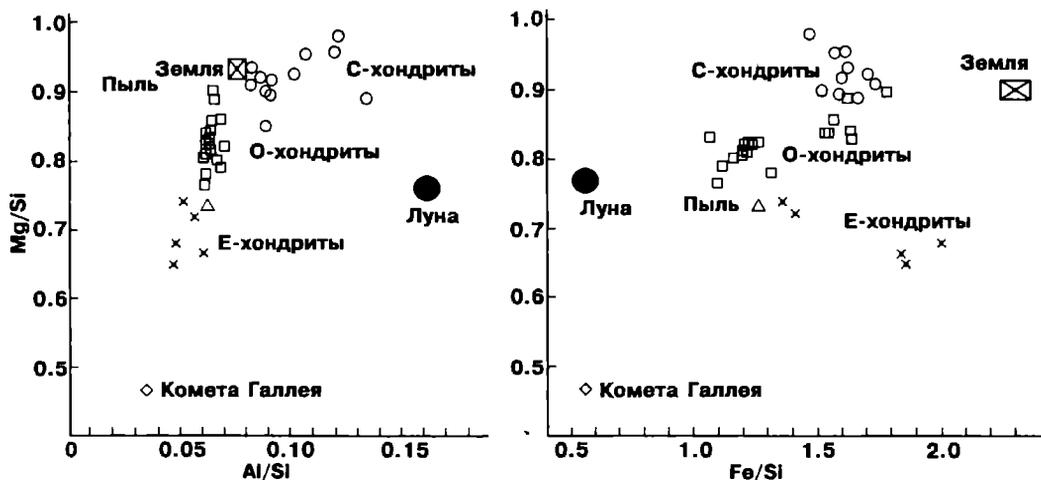


Рис. 3. Массовые отношения петрогенных элементов для вещества Луны, хондритов, межпланетной пыли и кометы Галлея. Для Луны отношение Fe/Si (равное 0.36 для силикатной оболочки и 0.44 для спутника в целом) минимально по сравнению с большинством других объектов Солнечной системы.

имеет генетического сходства с веществом Земли, равно как и ни с одним из классов хондритов (рис.3, табл.3). Величина важнейшего космохимического параметра — отношения массовых содержаний общего железа к кремнию — для Луны уникальна и составляет

(Fe/Si)=0.44—0.5 (нижняя и верхняя оценки относятся к минимальному и максимальному радиусу ядра соответственно). Это самое низкое значение отношения Fe/Si среди всех известных тел Солнечной системы: межпланетной пыли (1.26), вещества кометы Галлея

Таблица 3

Состав силикатных оболочек (кора + мантия) Земли и Луны (мас.%)

Автор	SiO ₂	FeO	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
ЗЕМЛЯ					
Рингвуд (1979)	45.9	8.1	38.8	3.2	4.0
Тейлор (1982)	50.1	8.0	35.3	2.9	3.7
Макдоноу и Сан (1995)	45.5	8.2	38.2	3.6	4.5
Кусков и др. (1995)	48.3	10.7	34.7	2.9	3.4
ЛУНА					
Рингвуд (1979)	45.1	14.1	32.9	3.7	4.2
Тейлор (1982)	43.9	13.1	32.3	4.6	6.1
Кусков (1995)	49.9	10.8	27.5	4.9	6.9

Примечание. При сопоставлении химического состава оболочек Земли по данным разных авторов, представленных в таблице, обратим внимание на следующие особенности. Для Земли составы А.Рингвуда и У.Макдоноу и С.Сана (Mc Donough W., Sun S. // Chem. Geol. 1995. V. 120. P.223-253.) основаны на модели пиролита и по существу представляют собой состав только верхней мантии; состав С.Р.Тейлора, базирующийся на модели углистых хондритов, относится уже ко всей силикатной оболочке. Наш состав получен на основе космохимической модели «фракционной конденсации» вещества допланетного облака (состав так называемого солнечного хондрита) и относится ко всей мантии Земли (Кусков О.Л., Сидоров Ю.И., Шапкин А.И. Конденсационная модель Земли: Солнечный хондрит // Основные направления геохимии. К 100-летию академика А.П.Виноградова. М., 1995. С. 58-69). Этот состав является промежуточным между моделями пиролита и углистых хондритов и на 2—2.5% обогащен закисным железом за счет большей железистости нижней мантии по сравнению с пиролитом.

(0.5—0.8), хондритов (1—1.8) и Земли (2.4—3). Напротив, содержания закисного железа, а также кремнезема, выведенные с учетом космохимических и геофизических ограничений, в силикатных оболочках Земли и ее спутника оказываются практически одинаковыми (табл.3). В то же время, вещество Луны существенно отличается от вещества земной мантии как в отношении концентраций других петрогенных элементов (обедненность Mg, обогащенность Al и Ca), так и в отношении ряда других геохимических характеристик (например, отношений FeO/MnO, K/U, K/La и др.). Содержание окислов Al и Ca в Луне в 1.5—2 раза больше, нежели в Земле, что коррелирует с содержанием урана (соответственно $30 \cdot 10^{-9}$ и $20 \cdot 10^{-9}$ г/г).

В ПОИСКАХ КОСМОГЕНИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ

Происхождение Луны занимало и занимает особое место в современных сценариях формирования планет Солнечной системы. Однако Луна — не изолированное космическое тело. И понять происхождение нашего спутника, по-видимому, невозможно вне связи с физико-химическими и механическими процессами и свойствами системы Земля—Луна и всей Солнечной системы. Особенности лунной геохимии позволяют считать Луну уникальным объектом среди планет земной группы (а, возможно, и среди спутников других планет) и заставляют искать такие механизмы ее формирования, которые непротиворечиво объясняли бы ее состав. Геохимические ограничения показывают, что Луна не могла образоваться путем конденсации вещества первичной Солнечной туманности, а также, что процессы формирования вещества Луны и хондритов были разными. Как отмечается в вышеупомянутом обзоре Э.М.Галимова, все три ранее широко обсуждавшиеся гипотезы — отделение Луны от Земли, захват, коаккреция (совместное образование Земли и Луны) — имеют свои недостатки и по различным причинам

не выдержали проверки временем.

А.Вегенер — один из основателей современной тектоники плит, интересовавшийся и другими глобальными проблемами, вероятно одним из первых выдвинул гипотезу образования Луны «благодаря падению друг на друга большого количества отдельных твердых тел». В настоящее время наиболее популярна гипотеза образования Луны в результате мегаимпакта — гигантского столкновения Земли с телом марсианского размера⁹. Предполагается, что новая концепция объясняет большой момент количества движения системы Земля—Луна и отсутствие лунного ядра тем, что вещество Луны формировалось из вещества уже дифференцированной Земли, т.е. из мантии. Принято считать, что зарождение этой концепции произошло в 1984 г. на Гавайской конференции по происхождению Луны. Катастрофические гипотезы рождения Луны и Великого столкновения широко обсуждались в отечественных публикациях¹⁰. Однако, по-видимому, впервые гипотеза гигантского столкновения была высказана на конференции по космохимии Луны и планет в Москве (июнь 1974 г.)¹¹. Ее авторы допускают «столкновение в окрестностях Земли двух сравнительно крупных тел (с суммарной массой много большей массы Луны)» и предполагают, что «при таком столкновении часть обломков с массой, равной массе Луны, осталась на околоземных орбитах» и впоследствии в процессе аккреции стала спутником. Однако в соответствии с известной поговоркой:

⁹ Вегенер А. Происхождение Луны и ее кратеров. М., 1923; Рускол Е.Л. Происхождение Луны. М., 1975; Origin of the Moon / W.K.Hartmann, R.J.Phillips, G.J.Taylor (Eds). Houston, 1986.

¹⁰ Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М., 1991; Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии (геология на пороге XXI века). М., 1995; Бялко А.В. Великое столкновение: геофизические следствия // Природа. 1994. № 3. С.39—47; Маракушев А.А. Происхождение Луны и других спутников планет // Там же. С.12—27.

¹¹ Левин Б.Ю., Маева С.В. Загадки происхождения и термическая история Луны // Космохимия Луны и планет. М., 1975. С.283—298.

«Ничто не ново под Луной», — приходится констатировать, что катастрофические сценарии происхождения Луны удивительным образом напоминают обсуждавшуюся Дж. Джинсом и Г. Джеффрисом в первой трети XX в. гипотезу происхождения планетной системы в результате скользящего бокового столкновения нашего светила с пролетающей звездой.

Мегаимпакт — безусловно красивая гипотеза. Но, как всякая катастрофическая гипотеза, она основана на случайных событиях и не согласуется с существованием ядра радиусом 300—500 км. Выше отмечалось, что Луна не могла быть образована из вещества мантии Земли. Безусловно, можно получить состав Луны путем превалирующего испарения вещества ударника. Но тогда снова возникает ключевой для планетологии вопрос: в какой области допланетного облака и при каких физико-химических условиях (температура, давление, состав) могло сформироваться протолунное вещество, обладающее таким валовым составом и отношением Fe/Si? А если оно каким-то образом могло сформироваться, то силовое решение проблемы формирования Луны путем гигантского удара теряет смысл и мало чем отличается от гипотезы захвата. Более того, образование Харона — спутника Плутона (с массой около 15% от массы планеты) также приходится объяснять с мало вероятных катастрофических позиций. Но как тогда быть с обнаруженными миссией «Галилео» двойными астероидами типа Иды со спутником? Вопрос о формировании спутниковых систем окончательно запутывается. Еще одна группа гипотез

рассматривает образование планет и Луны посредством коллапса газопылевого сгущения¹². Эти гипотезы считаются небезупречными с канонических позиций аккумуляции твердого тела, но, по-видимому, согласуются с обогащенностью Луны тугоплавкими элементами, дефицитом летучих и наличием заметного по размерам ядра.

Несмотря на то, что механизм формирования Луны остается неясным, проблема ее происхождения и системы Земля—Луна относится к наиболее перспективным, хотя и не решенным, вопросам космохимии и динамики допланетного диска. Существование двойных планет и двойных астероидов говорит как об отсутствии ясности в наших представлениях о реальных механизмах процессов конденсации и испарения в допланетном и диспутниковом облаке, так и о современном состоянии теории происхождения тел Солнечной системы. Поиск космогонической концепции продолжается, а химический состав мантийных резервуаров и Луны в целом должен выполнять роль важнейшего геохимического ограничения при построении моделей происхождения и последующей эволюции нашего спутника.

Необходимы новые эксперименты по измерению теплового потока и сейсмозондированию лунных недр. Исследования, начатые более 30 лет назад миссиями «Луна» и «Аполлон», позволили сделать исключительно важные выводы для геологии Луны и ранней стадии эволюции Земли. Но многие загадки и нерешенные проблемы, касающиеся состава и внутреннего строения нашего спутника, равно как и происхождения системы Земля—Луна, требуют дальнейшего активного исследования Луны космическими аппаратами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект 97-05-64786.

¹² Энеев Т.М. Новая аккумуляционная модель формирования планет и структура внешних областей солнечной системы // Препринт ИПМ РАН. М., 1979; Маракушев А.А. Происхождение и эволюция Земли и других планет Солнечной системы. М., 1992.

Космохимия

Космическое происхождение асимметрии живого?

Известно, что живая материя асимметрична. В частности, это проявляется в строении аминокислот организмов: из двух возможных их изомеров — L- и D-форм — обнаружены только L-изомеры. Происхождение такой асимметрии до сих пор остается спорным. Биотическая теория трактует асимметрию как случайно появившееся, но затем закрепленное в ходе эволюции явление, которое, раз возникнув, лавинообразно нарастало. Абиотическая теория, напротив, предполагает, что избыток L-форм аминокислот мог появиться до возникновения жизни, за счет космохимических реакций.

Эта проблема получила новое освещение после обнаружения в 1970 г. аминокислот в хондритовом метеорите Мерчиссон. Исследовавшие его состав Дж.Поллак и Дж.Бада с сотрудниками¹ показали, что найденные в нем аминокислоты содержат равное количество L- и D-форм изомеров, т.е. являются рацемическими смесями.

Недавно Дж.Кронин и С.Пизарелло (J.R.Cronin, S.Pisarello; Отделение химии

и биохимии, Темпе, США) вновь проанализировали состав этого каменного метеорита. Для разделения и идентификации оптических изомеров применялась хроматомасс-спектрометрия.

Акцент делался на изучении 2-амино-2,3-диметилпентановой кислоты, имеющей четыре (два L- и два D-) оптических изомера. Кроме того, исследовали изовалин, α-метилнорвалин, α-амино-н-бутановую кислоту и норвалин.

Результаты этой работы могут поставить точку в споре между сторонниками биотической и абиотической теорий, а значит, и окончательно доказать, что особенность жизни не в химическом строении ее молекул. Кронин и Пизарелло нашли, что избыток двух L-форм 2-амино-2,3-диметилпентановой кислоты над D-изомерами составляет 7.0±0.8% и 9.1±1.1%, а для изовалина и метилнорвалина — 8.4 и 2.8% соответственно.

Подробно обсуждая возможные условия возникновения полученного избытка, авторы подчеркивают, в частности, что исследованные ими аминокислоты не встречаются в живых организмах, т.е. не входят в состав 20 биогенных аминокислот. Возраст метеорита Мерчиссон 4.5 млрд лет. Он сформировался задолго до возникновения жизни на Земле. Тем самым возможность загрязнения исследованных образцов биогенными веществами исключается. Последовательны авторы и в желании исключить

экспериментальные артефакты. Они сами синтезировали смесь оптических изомеров исследуемых аминокислот. В качестве стандарта эта смесь была подвергнута тем же операциям, что и аминокислоты хондрита (даже первая стадия — вытяжка — была повторена).

Неудачу с доказательством асимметрии в более ранних работах Кронин и Пизарелло объясняют сложным составом (60 компонентов) исследованных образцов, а также отсутствием дополнительной масс-спектрометрической идентификации.

В двух аминокислотах (амино-н-бутановой и норвалине) преобладание L-форм не обнаружено, что авторы объясняют высокой скоростью образования рацемической смеси оптических изомеров этих веществ. В остальных исследованных аминокислотах затруднена рацемизация из-за наличия метильной группы, расположенной рядом с карбоксильной и препятствующей взаимопревращению оптических изомеров. В итоге возникшее в момент синтеза преобладание L-форм сохраняется.

Хотя найденное превышение количества L-изомеров невелико, полученные данные подтверждают абиотическую теорию асимметрии живого и тем самым косвенно указывают, что корни жизни могут иметь неземное происхождение.

Science. 1997. V.25. P.951—955 (США).

¹ Pollack G.E., Cheng C.-N., Kvenvolden K.A. // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1975. V.39. P.1571; Bada J.L. // *Philos. Trans. R. Soc. Ser.B.* London, 1991. P.333, 349.

Сверхзвуковой выброс газа

В. В. Голуб



Виктор Владимирович Голуб, кандидат технических наук, заведующий отделом физической газодинамики Научно-исследовательского центра теплофизики импульсных воздействий РАН. Область научных интересов — газодинамика, ударные волны, вихревые структуры.

МЫ ЧАСТО любимся причудливо меняющейся формой струи. Одно из упоминаний об этом можно найти у Тютчева:

*Смотри, как облаком живым
Фонтан сияющий клубится;
Как пламенеет, как дробится
Его на солнце влажный дым...*
(«Фонтан»)

Для всех струй — будь то струя фонтана, дыма или более сложная по структуре сверхзвуковая струя — характерно развитие неустойчивостей на границе. Сверхзвуковые струи стали активно изучать около сорока лет назад, когда происходило интенсивное развитие ракетно-космической отрасли. Проводились широкие исследования стационарных струй, в том числе развивающихся в них неустойчивостей. Однако в природе и технике при формировании струи наблюдается ряд газодинамических явлений, таких как залповые выбросы из вулканов, истечение испарившегося вещества при воздействии излучения импульсного лазера на твердое тело, выхлоп при выстреле и др., которые имеют общий физический механизм и пока мало изучены. В последнее время струйные выбросы обнаруживают у самых различных астрофизических объектов, например у проэволюционировавших двойных звездных систем и звезд на стадии эволюции¹. Струйные выбросы в объектах, подобных эллиптической галактике M87 и квазару 3C273, известны не один десяток лет, но до недавнего времени это явление считалось астрономическим курьезом. Однако существование удивительно сходных

© В.В.Голуб

¹ Вилебинский Р. Радионебо // Природа. 1984. № 5. С.74—84.

излучающих узлов в структуре струйных выбросов в широком диапазоне размеров — от миллипарсек (в звездах) до мегапарсек (во внегалактических объектах) позволяет предположить, что в их основе лежат одни и те же динамические процессы.

Указанные выше явления состоят из трех стадий. На первой из некоторого объема с отверстием — в результате внезапного повышения в нем давления — со сверхзвуковой скоростью начинает истекать газовая струя, перед которой в окружающей среде возникает ударная волна. Это явление напоминает взрыв. На второй стадии возникают вихревые кольца, жгуты и дорожки, долгое время определяющие структуру течения, процессы смешения, акустику и распространение струи. В окрестности отверстия (будем называть его соплом) струя через определенное время может выйти на квазистационарный режим, который характеризует третью стадию.

Мы остановимся на первых двух начальных стадиях формирования истечения, как менее изученных.

МОЖНО ЛИ СМОДЕЛИРОВАТЬ СТРУИ ДЛИНОЙ ОТ 5 ММ ДО 50 000 СВЕТОВЫХ ЛЕТ?

В 80-х годах были предприняты попытки численного исследования нестационарной сверхзвуковой струи путем решения двумерных газодинамических уравнений Эйлера для идеального сжимаемого газа. Анализ системы уравнений, выражающих законы сохранения массы, количества движения и энергии, показал, что пространственно-временное распределение физических величин в струе определяется параметрами $M = V_a/C_{\infty}$, $n = P_a/P_{\infty}$ и $\eta = \rho_a/\rho_{\infty}$ — отношениями скорости течения к скорости звука (число Маха), давления и плотности газа на срезе сопла (индекс a) к их значениям вдали от него (индекс ∞). Если сравнить результаты этих расчетов с радиointерферометрическими картами астрофизических струй, можно обнаружить удивительное совпадение пятен излу-

чения со структурой струи. Удивительное — потому, что при моделировании астрофизических струй необходимо учитывать свойства плазмы и использовать уравнение магнитной гидродинамики (МГД). Недавно выполненное решение МГД-уравнений для астрофизических струй дало распределение плотности в них, качественно похожее на ранее полученное при решении уравнений Эйлера². Природа таких струй пока не ясна, подходы к их качественному пониманию только определяются.

Для исследования влияния соотношения между силой магнитного поля и гравитационными силами выполнено численное моделирование формирования астрофизических струй. Показано, что при увеличении магнитного поля в 3 раза скорость струи увеличивается в 30 раз. Этот переход от одного типа струи к другому получил название «магнитный выключатель»³.

Наша работа посвящена моделированию формирования струи. Была использована ударная труба, состыкованная с барокамерой. Изобретенная более 80 лет назад ударная труба и в настоящее время является надежным инструментом при решении целого ряда актуальных задач. С ее помощью относительно просто исследовать состояния газов в широком диапазоне: по температурам — почти от абсолютного нуля до десятков и сотен тысяч градусов, по давлениям — от микронов ртутного столба до десятка тысяч атмосфер, по скоростям — от метров до сотен тысяч метров в секунду. Конструктивно она состоит из обычной трубы, один конец которой может быть открытым или закрытым, в то время как другой обязательно закрыт. Труба разделяется диафрагмой на две камеры. Одна из них, обязательно закрытая, — камера высокого давления (КВД), другая — камера низкого давления (КНД). При повышении дав-

² Ouyed R., Pudritz R.E., Stone J.M. // Nature. 1997. V.385. P.409—414.

³ Meier D.L. et al. // Nature. 1997. V.388. P.350—352.

ления в КВД диафрагма разрушается и газ из этой камеры, как поршень, начинает двигаться в КНД. При этом он сжимает, разогревает газ в КНД и придает ему некоторую скорость. Возникающие волны сжатия распространяются в газе быстрее звука, и чем сильнее повышение давления, тем быстрее движется волна. В результате на переднем фронте волны сжатия давление скачкообразно возрастает и формируется ударная волна.

Двигаясь далее по КНД, ударная волна в случае открытого торца ударной трубы выходит в пространство барокамеры, а при наличии торца отражается от него, образуя сжатый и нагретый газ. В наших экспериментах в торце ударной трубы было отверстие, и после отражения ударной волны от торца газ начинал истекать в барокамеру.

Торец ударной трубы находился в поле зрения теневого прибора Теплера ИАБ-451 и созданного на его основе интерферометра. Прибор позволял визуализировать неоднородности плотности газового потока за счет введения диафрагмы, которая вызывала перераспределение освещенности в плоскости изображения. С помощью этого метода определялась структура потока, т.е. ударные волны, границы струи, вихри. Интерферометр позволял регистрировать изменение показателя преломления и получать в конечном счете распределение плотности. Регистрация разных стадий процесса осуществлялась с помощью высокоскоростной кинокамеры ВСК-5 со скоростью съемки до 0.5 млн кадров в секунду. В случае осесимметричных потоков проводилась численная обработка интерферограмм путем решения интегрального уравнения Абея, выражающего соотношение разности хода луча с плотностью⁴.

СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ

Анализ теплеграмм струи, об-

работка интерферограмм и результаты численного моделирования формирования струи дали следующую картину течения. При внезапном выбросе на контактной поверхности истекающего горячего газа давление в струе равно давлению окружающего газа. Однако из-за более высокой по сравнению с окружающим газом температуры на контактной поверхности возникает провал плотности. Поскольку контактная поверхность, двигаясь со сверхзвуковой скоростью, толкает, как поршень, окружающий газ, перед ней возникает головная ударная волна. В истекающем из сопла газе возникает вторичная ударная волна. В отличие от головной ударной волны скачок параметров на вторичной волне имеет противоположное направление, и поэтому ее иногда называют обращенной. Это связано с тем, что в процессе расширения параметры сверхзвукового потока становятся ниже тех, которые свойственны окружающей среде, и вторичная ударная волна корректирует это несоответствие. В стационарных недорасширенных ($n \gg 1$) сверхзвуковых струях эта волна является главным элементом структуры и называется диском Маха. В импульсных струях подобная волна существует вне зависимости от нерасчетности вблизи фронта истекающего газа. Газ за ней тормозится до скорости контактного разрыва и образует головное вихревое кольцо. Развитие формирующейся струи на второй стадии радикальным образом зависит от температуры и плотности истекающего газа.

Для получения струй холодного газа ударная труба использовалась как резервуар (отсутствовала диафрагма между КВД и КНД). На входе в сопло устанавливалась калька, причем ее толщина выбиралась такой, чтобы она рвалась при давлении, которое возникло вслед за отраженной ударной волной. Как эксперимент, так и расчет показали, что в зависимости от числа Маха и отношения плотностей возможны два типа течения: если струя состоит из легкого горячего газа, то за головным вихревым кольцом возни-

⁴ Golub V.V. // Shock Waves. 1994. V.3. P.279–285.

Интерферограмма (а) и схема (б) осесимметричной импульсной струи азота сжата 50 мкс после начала истечения. К — контактная поверхность истекающего газа, ГВ — головная ударная волна, ВВ — вторичная ударная волна. 1, 2, 3 — вихревые кольца, 4 — виспячий скачок.



кает след, называемый коконом, в котором формируется возвратное течение к соплу вокруг центральной части струи; если же струя состоит из холодного плотного газа, кокон отсутствует.

Следует отметить, что даже использование мощных суперкомпьютеров для исследования формирования струи позволило решить задачу только в двумерной осесимметричной постановке⁵. Однако теплорограммы формирующейся струи, полученные в трех взаимно перпендикулярных направлениях, в ряде экспериментов показали отсутствие осесимметричности течения. Сфотографированное анфас вихревое кольцо больше напоминало гайку, а след за ним состоял из перекрещивающихся жгутов.

КАК ОБРАЗУЕТСЯ КОКОН?

В зависимости от параметров истечения существует несколько моделей формирования кокона.

Течение газа в коконе представляет собой крупномасштабные вихри, возникшие вблизи головной части струи. После формирования вихрь отделяется от головы струи и медлен-

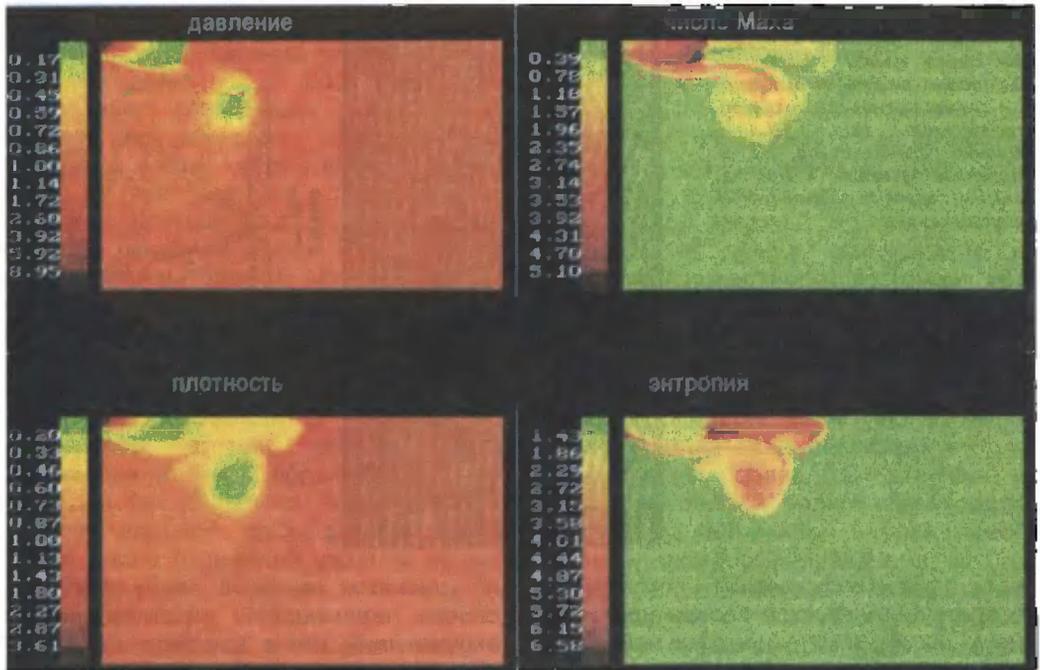
но движется назад, к соплу. По мере своего перемещения вихри вовлекают окружающий газ в круговое движение, так что на боковых границах струи образуется характерная веретенообразная структура. Данная модель основана на численном моделировании расчетных струй, таких, у которых отношение давлений $n=1$.

Эксперименты со струями при $n>1$ имеют ряд особенностей, которые позволяют предложить следующие модели образования кокона.

Вихревое кольцо на фронте струи растет в размерах и, испытывая сопротивление окружающей среды, замедляется. На него натекает газ струи, придает кольцу ускорение, а сам при этом расширяется в поперечном направлении, образуя кокон. В зависимости от рода газа и режимов истечения процесс может быть одним или многократным. Фоторазвертка истечения струи азота показывает, что возникают два колебания в интервале 80—120 мкс после начала процесса.

По мере движения вихревого кольца вниз по потоку оно может терять осесимметричность. Механизм нарушения осесимметричности вихревых колец — это так называемая азимутальная неустойчивость Уиднелл. (Она названа в честь американского физика Шеллы Уиднелл, которая в пос-

⁵ Norman M.L., Smarr L.L., Winkler K.-H.A. // Physica D. 1984. V.12. P.83—106.



Расчетные поля параметров струи, изображенной на предыдущем рисунке, в осевой плоскости истечения. Верхняя граница каждого поля — ось течения; сопло находится в левом верхнем углу. Давление, число Маха, плотность и энтропия претерпевают разрыв на вторичной ударной волне, на контактной поверхности скачок давления обычно отсутствует. Интенсивность головной ударной волны к этому моменту времени уже уменьшилась, и она слабо видна только на полях давления и плотности.

ледствии стала министром ВВС США.) Как показала Уиднелл⁶, вихревое кольцо в потоке идеальной жидкости почти всегда неустойчиво, а число волн неустойчивости на его периметре зависит от размера ядра вихревого кольца. В результате неустойчивости головного вихря могут образовываться боковые струи. Они возникают в местах изгибов ядра вихревого кольца из-за локального увеличения давления. Поперечная скорость этих струй мала по отношению к скорости головного вихря. Поэтому боковые струи сносят-

ся назад вдоль центральной части струи. При этом сами они могут быть неустойчивыми и обвивать главную струю по спирали.

Итак, в начальной стадии формирования сверхзвуковой струи имеют место эффекты, исчезающие при переходе к стационарному режиму. Основные отличия заключаются в следующем: вокруг струи возникает ударная волна; из-за головного вихря и следа за ним поперечные размеры струи могут оказаться в три-четыре раза больше размеров стационарной струи тех же параметров; глубина проникновения формирующейся струи выше, чем стационарной.

Указанные отличия необходимо принимать во внимание или использовать в самых различных областях, например при размещении импульсных двигателей коррекции космических летательных аппаратов относительно антенн и окошек ориентации по звездам. Неучет особенностей импульсной струи может привести к экранированию антенн и окошек при коррекции траектории и, следовательно, к потере ориентации в самый ответственный момент.

⁶ Widnell S.E., Bliss D.B., Tsai C.-Y. // J. Fluid. Mech. 1974. V.66. Part 1. P.35.

Влияние отношения плотностей на формирование сверхзвуковой струи с $M=6.0$. а — $\eta=10.0$, б — $\eta=1.0$, в — $\eta=0.1$, г — $\eta=0.01$. Видно, что плотная струя ($\eta=10.0$) — «голая», а легкая ($\eta=0.01$) — одета в шубу-кокон.



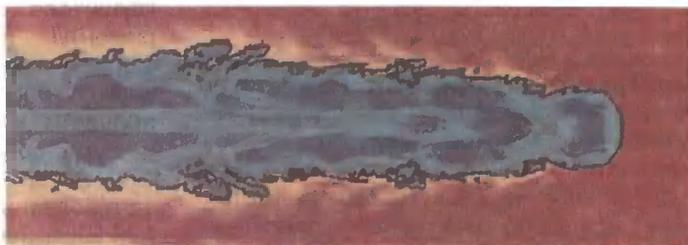
а



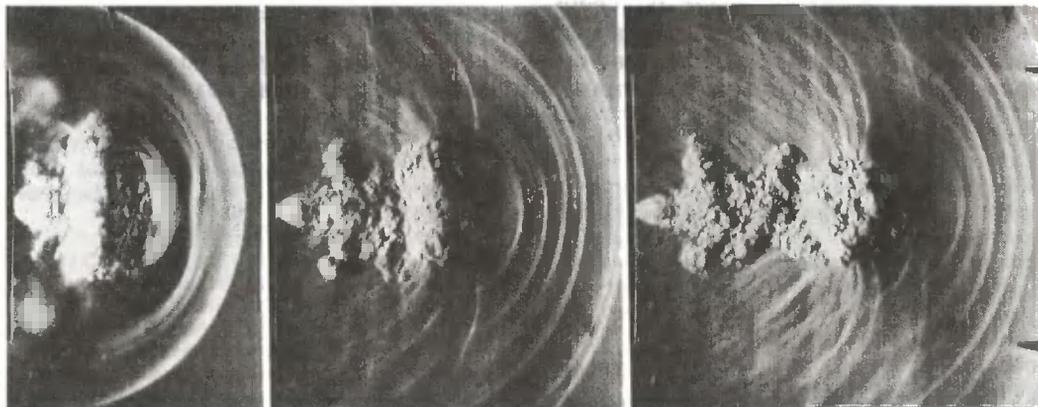
б



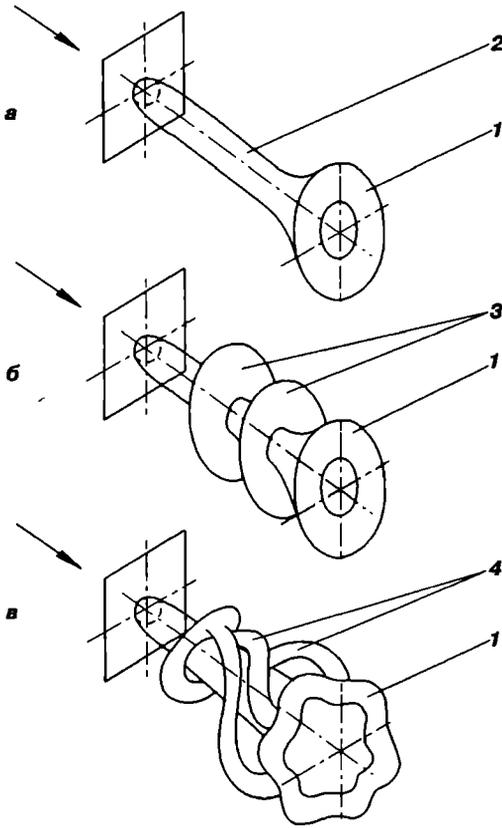
в



г



Последовательные теллерограммы развития импульсной струи аргона, число Маха $M_a=1$, $\eta=2.8$. Моменты времени с начала истечения: а — 240, б — 340, в — 430 мкс.



Особенности импульсной струи могут быть использованы для улучшения смешения потоков двух газов или жидкостей. Очень остро стоит эта задача для сверхзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя, где горючее через сопло на стенке камеры сгорания поступает со сверхзвуковой скоростью в набегающий сверхзвуковой поток воздуха. От того, насколько глубоко проникает струя в

Начальная стадия формирования холодной струи (а), образование кокона путем срыва осесимметричных вихрей с головного кольца (б), а также при развитии азимутальной неустойчивости головного вихревого кольца с возникновением боковых струй (в). 1 — головное вихревое кольцо, 2 — центральная часть струи, 3 — движущиеся назад к соплу вихревые кольца, 4 — жгуты.

поток воздуха, зависит эффективность смешения и соответственно длина камеры сгорания. Выполненные недавно предварительные эксперименты подтвердили увеличение глубины проникновения струи в нестационарном режиме.

Но не только высоко в небе имеют столь большое значение особенности формирования струи. Знание процесса нестационарного расширения газа может сослужить пользу и на земле. Дело в том, что при работе двигателя внутреннего сгорания, например в автомобиле, на высоких оборотах возникает так называемый металлический шум. Он связан с появлением ударных волн в глушителе. Выполненные нами эксперименты показали, что изменение формы отверстия, через которое выходит расширяющийся газ, может привести к ослаблению ударных волн и шума соответственно.

Автор признателен Т.В.Баженовой за полезные обсуждения, а также А.М.Шульмейстеру, Т.А.Бормотовой и С.Б.Щербаку за помощь в проведении экспериментов и расчетов.

Работа велась при частичной поддержке Фонда Сороса, грант J61100.

«Мир-1» и «Мир-2»: нужны ли России достижения ее науки и техники?

К 10-летию создания и эксплуатации

А. М. Сагалевиц,

доктор технических наук

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Москва

Об истории создания глубоководных обитаемых аппаратов «Мир», которые представляют собой уникальный исследовательский комплекс, и о достигнутых с их применением высоких научных и технических результатах регулярно сообщалось на страницах нашего журнала. Вновь пройдя вместе с автором статьи по основным этапам десятилетнего изучения океана при помощи «Миров», мы приглашаем читателей обратить внимание на иной аспект — будущее этих наиболее совершенных на сегодняшний день аппаратов. Несмотря на уже разработанные в Институте океанологии глобальные проекты дальнейших исследований Мирового океана, в частности вновь открытых гидротермальных полей с богатыми рудными месторождениями и неизученным животным миром, ныне особенно остро встает вопрос о финансовых возможностях их реализации.

По мере того как я погружался в глубины, я понимал, что сталкиваюсь с миром, жизнь которого почти так же неизвестна, как жизнь на Марсе.

Вильям Биб¹. 1930 г.

ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ «МИРОВ»

Контракт на строительство глубоководного обитаемого аппарата (ГОА), способного погружаться на 6000 м, был подписан в мае 1985 г. между Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН и финской фирмой «Раума Репола». Этому предшествовал многолетний поиск зарубежного партнера, который смог бы построить ГОА современного типа. Поисковая работа началась еще в 1976 г.

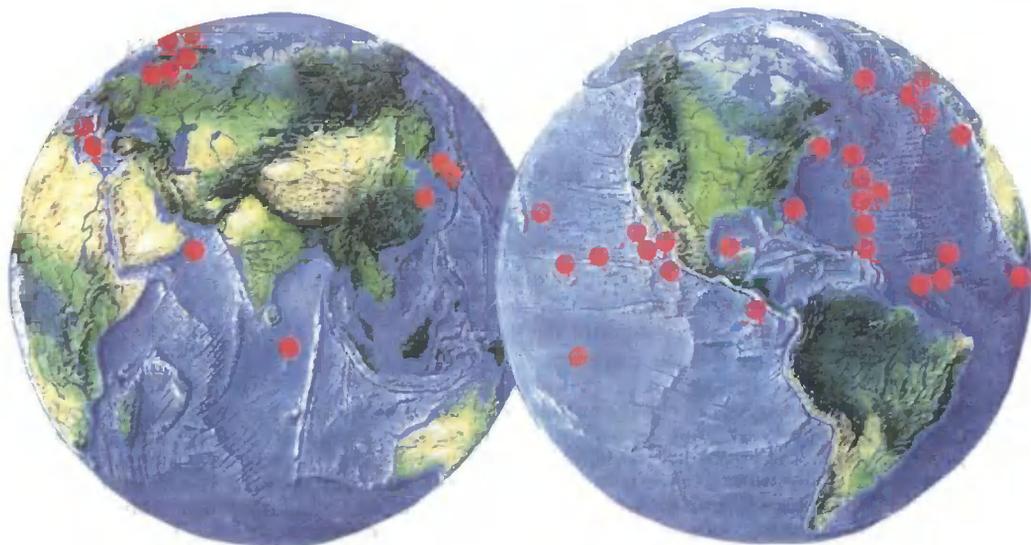
(после приемки Институтом океанологии глубоководных аппаратов «Пайсис-7» и «Пайсис-11», построенных в Канаде) и осуществлялась И. Е. Михальцевым, который впоследствии возглавил коллектив по созданию аппаратов «Мир-1» и «Мир-2»². Переговоры о постройке шестистаенника велись с представителями фирм Франции, Швеции, Швейцарии, однако по различным причинам до контракта дело не дошло. В 1982 г. большую заинтересованность в строительстве аппарата с рабочей глубиной 6000 м проявили представители финской фирмы «Раума-Репола». В течение трех лет финские инженеры изучали

мировой опыт сооружения обитаемых аппаратов. Одновременно на фирме разрабатывалась технология получения высокопрочной стали с большим процентным содержанием никеля, предназначенной для корпусов аппарата. Весной 1985 г. фирма была готова к подписанию контракта, который включал поставку ГОА и спасательного устройства на базе подводного телеуправляемого аппарата на случай аварийной ситуации. Однако вскоре финские специалисты пришли к выводу, что не в состоянии сделать подводный телеуправляемый аппарат с рабочей глубиной 6000 м, и тогда партнеры согласились заменить спасательный комплекс на второй обитаемый аппарат, идентичный основному. Так в контракте появились «Мир-1» и «Мир-2».

© А. М. Сагалевиц

¹ Биолог, первым погрузившийся на глубину более 900 м в батисфере на тросе в районе Бермудских о-вов. Им проведены первые визуальные наблюдения животных в толще воды, которых зарисовывала ассистентка по его описаниям.

² См.: Михальцев И. Е. Глубоководные обитаемые аппараты «Мир» // Природа. 1988. № 6. С. 38—39.



Районы работ с использованием глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». (Подробную карту с конкретными обозначениями см.: Океанология. 1998. № 1.)



Испытания глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» (восточная часть Центральной Атлантики, декабрь 1987 г., глубина океана более 6000 м). Справа — руководитель проекта и погружений И. Е. Михальцев, слева — его заместитель, пилот-приемщик А. М. Сагалевич.

Здесь и далее фото Ю. А. Володина

Группа борт-инженеров и пилотов глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» (слева направо): первый ряд — Л.Г.Волчек, А.Ю.Федотов, Д.А.Оводков; второй ряд — В.А.Кузьмин, А.М.Сагалявич, А.А.Андреев, А.Г.Благодарев, Н.П.Петко, Е.С.Черняев; вверху стоит В.А.Ницета. 1995 г.



Их проектирование началось сразу после заключения контракта. В Финляндии велась работа по отливке полусфер для высокопрочных корпусов, и одновременно в России под руководством И.Е.Михальцева и моим, его заместителем, разрабатывался научно-технический проект на аппараты «Мир». Заложенные в этот период основные концепции их технического устройства совершенствовались в процессе постройки, а в некоторых случаях менялись в принципе. Кроме того, финская сторона в соответствии с контрактной спецификацией и по согласованию с заказчиком размещала заказы на

научное, навигационное и специальное оборудование для оснащения аппаратов «Мир» на фирмах Европы и США. Этот процесс был довольно сложным, поскольку в то время не все фирмы из-за существовавшего эмбарго могли поставлять аппаратуру для советского глубоководного аппарата. Еще одним направлением работ было создание испытательного комплекса, который включал две камеры высокого давления — большую, диаметром 2,5 м, рассчитанную на 750 атм., и меньшую — на 1100 атм. (заметим, что на максимальной глубине погружения 6000 м давление ≈600 атм.). В комплекс вхо-

дила также аппаратура для анализа прочностных характеристик испытываемых изделий. В мае 1986 г. научно-технический проект на ГОА «Мир» был принят. Большой вклад в создание «Миров» внесли сотрудники лаборатории глубоководных обитаемых аппаратов Института океанологии Е.С.Черняев, В.П.Бровко, В.А.Ницета, Н.Л.Шашков, В.С.Кузин, А.С.Сусляев и др.

В сентябре 1987 г. строительство аппаратов было близко к завершению. В финский порт Мантиолуото пришло научно-исследовательское судно «Академик Мстислав Келдыш» — необходимо было его модернизи-

ровать для обеспечения работы аппаратов в океане (разместить их на палубе, установить спуско-подъемное устройство и т.д.). Находившиеся на борту судна руководители проекта Михальцев и большая группа сотрудников Института — пилоты подводных аппаратов, инженеры, конструкторы — внесли ряд свежих идей в технические решения. Практически все новшества были приняты финской фирмой к исполнению.

В конце октября модернизация судна была завершена. Аппараты прошли испытания в бассейне, специально созданном в одном из зданий фирмы, а в ноябре на Балтике были проведены первые морские испытания с глубиной погружения 70 м. «Миры» показали хорошие эксплуатационные качества. На следующем этапе, при погружениях на 1100 м в восточной части Центральной Атлантики, был выявлен ряд технических недоработок, которые, однако, на безопасность погружений не влияли. Завершали цикл морских испытаний глубоководные погружения на 6000 м. Первое погружение состоялось 11—12 декабря в районе с координатами 17°32'с.ш., 30°02'з.д.; оно продолжалось 14 час и осуществлялось очень медленно, с соблюдением всех мер безопасности. Аппарат «Мир-1» достиг глубины 6170 м. «Мир-2» пошел под воду 12 час спустя (после того как был поднят на борт первый аппарат); его погружение тоже продолжалось 14 час и шло по уже опробованному сценарию. «Мир-2» достиг глубины 6120 м. В процессе этих испытаний обнаружались существенные дефекты: отказ работы насосов высокого давления, откачивающих водяной балласт на глубинах более 5000 м; нерабочее состояние акустического локатора и гидро-

акустической системы навигации и др. Аппараты были приняты с условием, что все недостатки будут ликвидированы в период гарантийного ремонта, осенью 1988 г.

Первая экспедиция была проведена в 1988 г. под руководством А.П.Лисицына в район гидротермального поля ТАГ (Трансатлантический геотраверс, 26° с.ш. Срединно-Атлантического хребта)³. «Миры» совершили 16 погружений на 3600—4000 м, во время которых детально обследовано активное гидротермальное поле, а также обширные площади донной поверхности с потухшими гидротермами; собран уникальный научный материал — образцы сульфидов и других пород, экземпляры гидротермальных животных; получен большой объем видеозаписей и подводных фотографий и т.д. Эта первая экспедиция подтвердила надежность аппаратов «Мир», их высокие эксплуатационные качества, позволяющие проводить длительные погружения с рабочим циклом на грунте 15—16 час. С другой стороны, во время экспедиции был окончательно установлен список технических недоработок, подлежащих устранению при гарантийном ремонте.

Осенью 1988 г. «Академик Мстислав Келдыш» с «Мирами» на борту снова пришел в Финляндию. «Раума-Репола» устранила все выявленные недостатки; существенные изменения были внесены и в ту часть судна, где располагались подводные аппараты. Таким образом, к первым международным экспедициям аппараты, которым доступны 98% дна Мирового океана, были готовы полностью.

«МИРЫ» В ДЕЙСТВИИ

В 1988—1991 гг. эксплуатация научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» с аппаратами «Мир» осуществлялась по старой системе — на базе бюджетного финансирования. За этот период проведено семь экспедиций по научным программам и одна специальная — к месту аварии атомной подводной лодки (АПЛ) «Комсомолец». К основным направлениям научных экспедиций относилось исследование гидротермальных полей Тихого и Атлантического океанов, подводных поднятий и подводных гор Восточной Атлантики, Средиземного моря и центральной части Индийского океана. В некоторых экспедициях использовалась новая методика исследования планктона; применение глубоководных аппаратов позволяло охватить всю толщу воды, вплоть до максимальных глубин, на которых они могут работать. Несколько погружений были посвящены изучению донной фауны абиссали Атлантики и Юго-Западной и Западной Пацифики.

В этих экспедициях вместе с нами работали и зарубежные ученые из США, Канады, Англии, Германии, Италии. Необходимо отметить, что участие крупных американских ученых и представителей таких организаций, как Национальное географическое общество США, Национальная администрация по океану и атмосфере, и других сыграло большую роль в дальнейшей эксплуатации аппаратов «Мир» — в период, когда выделение бюджетных ассигнований на экспедиционную деятельность были прекращены и выживание научного флота ИО РАН осуществлялось только за счет возможностей каждого из судов организовать кон-

³ Подробнее см.: Лисицын А.П. Главные хранилища сульфидных руд на дне океана // Природа. 1989. № 2. С.38—51.

трактные или договорные работы. На этом этапе (1991—1996) было проведено 14 экспедиций, семь из них — по контрактам с зарубежными научными организациями и фирмами. В каждом из контрактных рейсов принимала участие большая группа ученых Института океанологии, проводивших как запланированные при составлении маршрутов исследования отдельные районы, так и попутные научные наблюдения. В ряде экспедиций участвовали ученые Института оптики атмосферы Сибирского отделения РАН.

Работа по контрактам значительно расширила спектр подводных операций, выполнявшихся с помощью аппаратов «Мир». Если во времена бюджетного финансирования проводились главным образом научные исследования, то теперь осуществлялись также поиск и подъем лежащих на дне объектов, специальные подводно-технические операции с разработкой новых технологий, глубоководные съемки с участием профессиональных киностудий и т.д. Как изменилось соотношение погружений с научными и специальными техническими задачами, наглядно показывают данные табл.1.

Остановимся на нескольких наиболее приоритетных направлениях исследований, принесших отечественной науке и технике мировую известность и признание.

Исследования гидротермальных полей. Ныне известно около 40 районов Мирового океана с гидротермальными полями на дне. Они находятся преимущественно в Тихом океане, в Атлантике же активные гидротермы пока найдены в семи районах. Однако после того как в 1986 г. извест-

Таблица 1
Специализация погружений аппаратов «Мир-1» и «Мир-2»

Тематика	Годы		
	1987—1990	1991—1996	Итого
Геология	41	49	90
Биология	41	31	72
АПЛ «Комсомолец»	3	65	68
Техника: испытания, съемки фильмов, поиск и т.д.	16	162	178
Итого	101	307	408

Таблица 2
Число погружений аппаратов «Мир» на заданную глубину в 1987—1996 гг.

Глубина, м	«Мир-1»	«Мир-2»
0—1000	43	37
1000—3000	71	75
3000—5000	61	68
5000—6000	21	29
>6000	2	1
Итого	198	210

ный американский исследователь П.Рона открыл на аппарате «Алвин» гидротермальное поле ТАГ, прежнее мнение, будто активные гидротермы могут существовать только в районах с высокой скоростью раздвижения литосферных плит, т.е. главным образом в Тихом океане, было опровергнуто. В настоящее время работы на атлантических гидротермах ведутся очень активно и американскими, и французскими, и английскими учеными.

С помощью «Миров» исследования проходили на трех гидротермальных полях Атлантики: ТАГ, Брокен Спур и поле Логачева. В экспедиции на ТАГ в 1991 г. дважды погружался на аппаратах и П.Рона, высоко оценивший их возможности. Одно из погружений «Мира-2», в котором участвовали Ю.А.Богданов и П.Рона, завершилось открытием самого крупного

гидротермального рудного тела из числа известных к настоящему времени на дне океана. Депозит рудного вещества этой постройки оценен в 10 млн т, а сама постройка названа по имени аппаратов — «Мир». Под руководством Лисицына на ТАГе была найдена целая цепочка гидротермальных холмов без активных гидротерм, с которых подняты образцы с высоким содержанием меди, цинка, железа, марганца, никеля, кобальта, золота, серебра и других металлов⁴. Эти мощные за-

⁴ Лисицын А.П., Сагалевич А.М., Богданов Ю.А., Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Первая геологическая экспедиция на глубоководных обитаемых аппаратах «Мир» // Вестн. АН СССР. 1989. № 1. С.86—94; Сагалевич А.М., Лисицын А.П. Успехи исследований с подводными обитаемыми аппаратами // Природа. 1996. № 7. С.26—37.



Заросли сестонофагов (горгонарии и бесстельчатые морские лилии) на хребте Горриндж. Восточная Атлантика, глубина 2800 м.

пасы мультиметаллических сульфидных руд, открытые учеными ИО РАН, представляют большой интерес с точки зрения их промышленной разработки в ближайшем будущем.

В январе 1994 г. учеными НИИ Севморгеологии (Санкт-Петербург) было открыто новое гидротермальное поле на $14^{\circ}45'$ с.ш. Срединно-Атлантического хребта. Обнаружено оно с помощью приборов и

средств пробоотбора, опускаемых на тросах и кабелях с борта судна «Профессор Логачев». По имени судна этот район и назвали гидротермальным полем Логачева. «Мир-1» и «Мир-2» — первые обитаемые аппараты, погружившиеся на гидротермы поля Логачева. Это произошло в феврале 1995 г. Здесь были обнаружены «курильщики» кратерного типа, которые не имеют классической трубы, — дым валит прямо из

углубления на дне. Причем черный дым-флюид не поднимается вверх, как в других районах, а стелется по дну, направляемый донными течениями. Анализ пробы, отобранной непосредственно из плюма, показал его высокую плотность. Этот фактор, а также нахождение в гидротермальном поле ультраосновных пород позволяют заключить, что в данном случае плюм формируется в глубинных слоях океанической

*Вершина «черного курильщика» Голова Сарацина, расположенного в гидротермальном районе Брокен Спур (южная часть Северной Атлантики, глубина 3100 м). Видны обитатели этих глубин — крабы (*Segonzacia mesatlantica*) и альвинокоридные креветки.*



Брокен Спур. Взятие геологического образца, который густо покрыт серыми полипами — зоонтариями.



коры, на ее границе с верхней мантией Земли⁵. Гидротермальное поле такого типа найдено впервые. Анализ поднятых со дна образцов показал высокое содержание меди — до 35%. Фауна представлена здесь креветками, мидиями, угрями, актиниями и другими животными, характерными для гидротерм Атлантики. Большинство видов животных отобраны аппаратом «Мир-2» с помощью всасывающего пробоотборника.

В 1996 и 1997 гг. в этом районе проводились более детальные исследования с французского аппарата «Наутилус» и с американского «Алвин». Однако перед глазами человека гидротермы поля Логачева впервые предстали именно с обитаемых аппаратов «Мир». Российские ученые первыми описали и ландшафт, и типы гидротермальных излияний, и основные виды обитающих здесь животных. Зарубежные коллеги называют этот район Русской точкой.

В Тихом океане аппараты «Мир» работали в девяти гидротермальных районах — во время 21-го⁶ и 22-го рейсов «Академика Мстислава Келдыша». Один из главных приоритетов ГОА «Мир» в Тихом океане — исследования гидротермальных излияний на подводном вулкане Пийпа, открытых учеными Института вулканологии ДВНЦ РАН в 1989 г. Погружения аппаратов «Мир» состоялись в июле 1990 г. Из иллюминаторов океанологи и вулканологи увидели, что эти излияния сильно отличаются от на-

блюдавшихся ранее в других районах Атлантического и Тихого океанов⁷. Вместо мощных темных труб, из которых валит черный дым, на вулкане Пийпа сформировались небольшие белые трубы высотой до 1.5 м; из них под большим давлением вырывается белое вещество. Это очень напоминает газовую горелку, используемую для сварки. В диаметре нескольких метров вокруг такого «курильщика» поверхность дна покрыта коркой белого вещества, в котором преобладают сульфаты кальция и бария. Фауна на этом участке дна отсутствует. Анализ газовых проб показал высокое содержание (до 81%) метана. В этом районе найдено самое северное из открытых к настоящему времени поселение двусторчатых моллюсков калиптоген⁸. Общие площади дна (местами более 100 м²) покрыты здесь, словно ковром, бактериальными матами. Это говорит о высокой гидротермальной активности района вулкана Пийпа, которая, по-видимому, находится в начальной стадии развития и требует детального изучения.

Наиболее глубоководное гидротермальное поле наблюдалось из аппарата «Мир-1» в районе подводного вулкана Лоихи, к югу от Гавайских о-вов. В этом погружении экипаж на глубине 5000 м увидел массу

небольших сульфидных трубок высотой 15–30 см с желтым веществом наверху (очевидно, бактериальными матами). Поверхность вокруг трубок покрыта черным налетом, словно обуглена.

Собранные «Мирами» обширные биологические коллекции позволили приступить к всестороннему изучению глубоководных биологических сообществ, хотя и занимающих небольшие площади дна, но обладающих огромной биомассой. Потребляемая ими первичная продукция базируется на энергии окисления восстановленных соединений серы и углерода (сероводорода, метана, углеводородов). Эти исследования привели к описанию новых для науки таксонов — семейств, родов и видов. Известно, что в шести гидротермальных районах Северной Атлантики одной из ландшафтоопределяющих форм являются креветки; их здесь обитает девять видов, относимых к пяти родам и двум семействам. Два вида (*Iorania concordia*, *Mirocaris keldyshi*), два рода (*Iorania*, *Mirocaris*) и одно семейство (*Mirocarididae*) описаны сотрудником Института океанологии А.Л.Верещакой, увековечившим названия Института, глубоководных обитаемых аппаратов и их судна-носителя в латинских названиях каридных креветок⁹. С.В.Галкин в соавторстве с Е.Саусворд (Англия) описал *Arcovestia ivanovi* — новый вид, род и семейство (*Arcovestiidae*) подкласса вестиментифер в типе погонофор из гидротерм бассейна Манус в Западной Папуйе, а Е.М.Крылова и Л.И.Москалев

⁷ Баранов Б.В., Матвеенков В.В., Сагалевич А.М. Гидротермальные постройки подводного вулкана // Природа. 1991. № 2. С.44; Сагалевич А.М., Торохов П.В., Матвеенков В.В., Галкин С.В., Москалев Л.И. // Изв. АН. Сер. Геол. 1992. № 9. С.104–114.

⁸ Сагалевич А.М., Москалев Л.И. Хемобис на дне Тихого океана // Природа. 1991. № 5. С.33–40.

⁵ Богданов Ю.А., Сагалевич А.М. и др. // Докл. АН. 1995. Т.343. № 3. С.353–357.

⁶ Подробнее см.: Лисицын А.П. Рудообразование за дугами островов // Природа. 1991. № 7. С.38–50.

⁹ Vereshchaka A.L. // J. Mar. Biol. Ass. U.K. 1996. V.76. P.951–961; 1997. V.77. P.425–438; Верещака А.Л. Креветки, которые обогрелись на молоке, не дуют на воду // Природа. 1996. № 8. С.60–61.

— новый вид везикомиидного двусторчатого моллюска *Ectenagena extenta*, добытого в заливе Монтерей на глубине более 3000 м на небольшом поле холодного сероводородного высачивания. Подобных примеров много. Они говорят о том, что за первое десятилетие работы «Миров» весьма значимую школу на них прошли не только пилоты и борт-инженеры, но и ученые-наблюдатели.

Исследования планктона. Изучение биоразнообразия океанических экосистем — их таксономического состава, структуры сообществ, трофических взаимоотношений организмов и их изменений в различных районах океана и на разных глубинах — одна из важнейших проблем современной биоокеанологии. Неотъемлемую (если не краеугольную) часть таких исследований составляет изучение планктонных сообществ океана. Особый интерес представляет выяснение причин и закономерностей смены фауны с глубиной — «биологической зональности океана», а также биоэкологических процессов, протекающих в придонном слое.

Традиционные орудия лова не позволяют достаточно подробно исследовать тонкую структуру количественного и качественного распределения животных в толще воды, особенно в придонном слое. Использование обитаемых аппаратов открыло принципиально новые возможности, которые позволяют наблюдать за сменой распределения организмов в водной толще практически с любой степенью пространственной дискретности и выяснить целый ряд других особенностей структуры пелагических сообществ, имеющих важнейшее значение в понимании

организации жизни в океане. В значительной мере проведение подобных исследований оказалось возможным потому, что «Миры» обладают запасом энергообеспечения, существенно превосходящим в этом отношении другие аппараты-шеститысячники. Это позволило при организации погружений обеспечить детальные планктонные работы во время спуска и подъема аппаратов и благодаря этому получить уникальные, не имеющие аналогов в мировой практике, результаты.

Для исследования вертикальной зональности во всей толще океанских вод — от поверхности до глубины 6000 м — ИО РАН организовал в 1990 г. специальную экспедицию (22-й рейс «Академика Мстислава Келдыша»), которая работала в различных по продуктивности районах Северной и Центральной Пацифики, от Курило-Камчатского жёлоба до побережья Центральной Америки. В рейсе совершено 19 погружений «Миров» на глубины от 1000 до 5948 м, во время которых специалисты-планктонологи Э.А.Шушкина и Ю.Г.Чиндонова вели качественную и количественную оценку распределения пелагических животных. Подобные наблюдения проводились впервые в мире; в результате получены первые достоверные сведения о массе макропланктона на различных глубинах, выявлена и исследована структура скоплений пелагических животных, которая играет важнейшую роль в их существовании, выяснена связь такой структуры с гидрологическими и гидрохимическими характеристиками вод. В частности, обнаружена двухмаксимумная структура скоплений планктона на

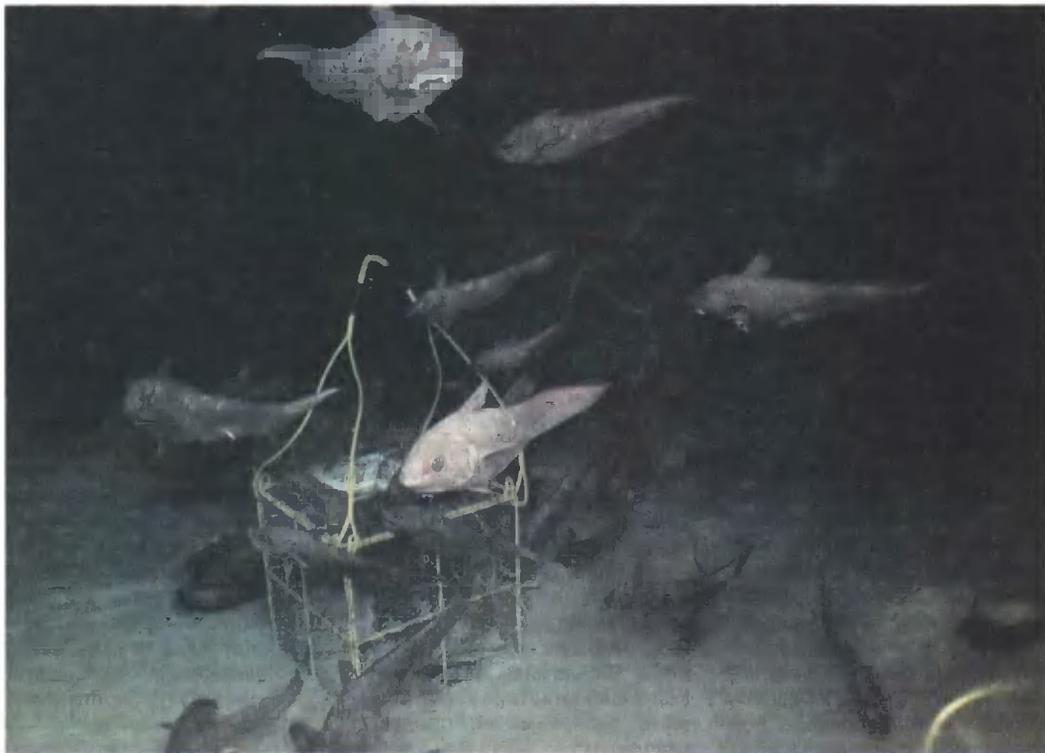
границах слоя глубинного кислородного минимума в Центральной и Восточной Пацифике; впервые выяснены и количественно оценены роль желетелого планктона (медузы, сифонофоры, гребневика, сальпы) и его доминирование на всех глубинах океанической пелагиали. В высокопродуктивном Курило-Камчатском районе удалось установить закономерности вертикальной биологической зональности пелагиали океана и оценить особенности смены фауны во всей толще океанических вод, что существенно дополнило представления, сложившиеся ранее по сборам сетями. Результаты проведенных в этом рейсе погружений аппаратов «Мир» в корне изменили представления о структуре пелагических экосистем в различных по продуктивности районах океана¹⁰.

Изучение придонных бенто-пелагических экосистем проводилось на склоне Норвежского моря (при мониторинге места гибели АПЛ «Комсомолец») и на гидротермальных полях ТАГ и Брокен Спур Срединно-Атлантического хребта (как часть изучения планктона всего столба воды)¹². В

¹⁰ Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. // Тр. ИО РАН. 1994. Т.131. С.41—63; Виноградов М.Е., Чиндонова Ю.Г. // Там же. С.64—75.

¹¹ Верещака А.Л., Виноградов Г.М. Состав и распределение планктона в придонном слое // Океанологические исследования и подводно-техн. работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». М., 1996. С.179—184.

¹² Виноградов Г.М., Верещака А.Л., Шушкина Э.А., Арнаутов Г.Н., Дьяконов В.Ю. // Океанология. 1997. Т.37. № 4. С.559—570; Виноградов М.Е., Верещака А.Л., Шушкина Э.А. // Океанология. 1996. Т.36. № 1. С.71—79.



Наблюдения с ГОА «Мир» дают возможность увидеть и сфотографировать удивительных морских животных. Слева — глубоководные рыбы, собравшиеся к приманке (северо-запад Индийского океана, глубина 1000 м). Справа — приманка привлекла крупного глубоководного краба.

Норвежском море исследования подтвердили существование особой фауны крупных придонных животных, плавающих в первых метрах от дна (и поэтому обычно не попадающих ни в бентоонные, ни в планктонные орудия лова). Важнейшими элементами этого сообщества оказались крупные мизиды *Birsteiniamysis*, специфические желетельные планктеры и амфиподы.

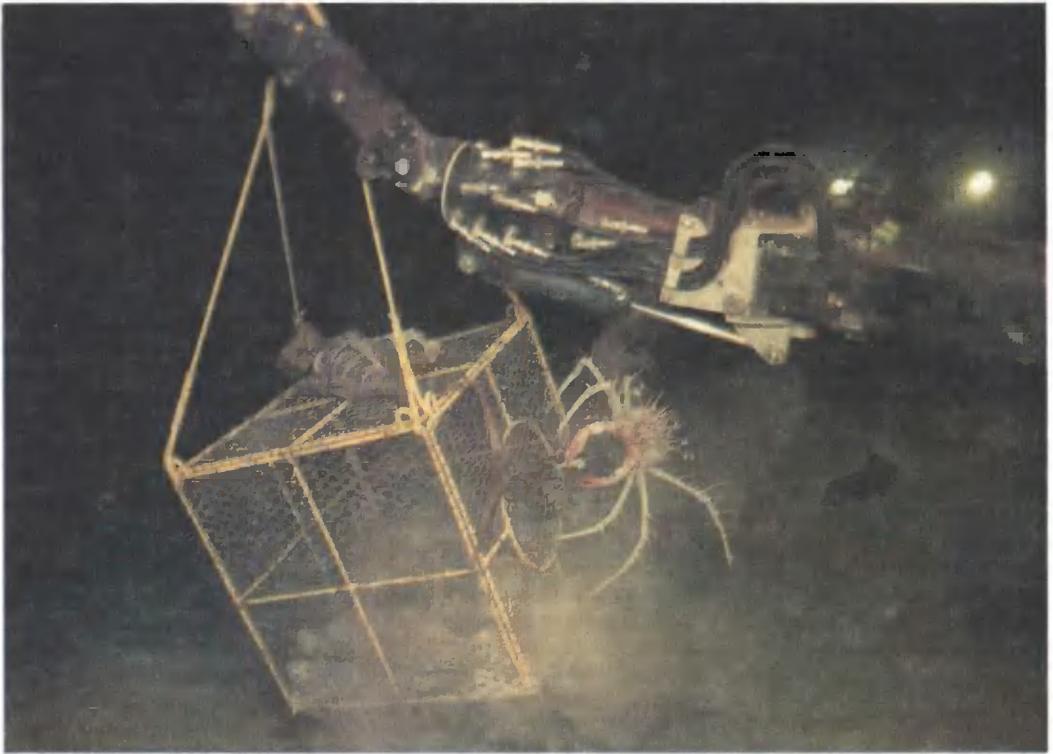
Гидротермальные поля ТАГ и Брокен Спур расположены в олиготрофных

районах океана с чрезвычайно скудными потоками органического вещества из эвфотической зоны в глубину, что позволило четко анализировать влияние хемосинтетической органической продукции гидротермальных экосистем на окружающее пространство океана. Была обнаружена трехмерная структура гидротермальных экосистем и в то же время — квазизамкнутость в них органического вещества, продуцируемого в результате хемосинтеза.

Собранные во всех этих экспедициях уникальные коллекции геологических образцов, биологических объектов, подводных фотографий и видеозаписей составили золотой фонд российской океанологии. Остается лишь сожалеть, что не созданы нормальные условия для хранения и систематизации этих материалов, а ведь они

могли бы широко использоваться для вузовского обучения и популяризации научных знаний.

Долговременная программа исследования гидротермальных полей с применением обитаемых аппаратов была разработана учеными ИО РАН в 1993 г. Она обсуждалась в ряде зарубежных организаций (Вудсхолском институте океанографии, Университете Ратгерса, Национальном научном фонде США, Национальном географическом обществе США, а также в научных учреждениях Англии, Германии, на сессии Международного океанографического комитета в Париже и т.д.). И всюду нашла одобрение, а некоторые организации обещали финансовую поддержку. Помимо чисто научных исследований на гидротермах Атлантичес-



кого и Тихого океанов в программе предусматривалась глубоководная съемка кино- и видеофильмов. Здесь проявили заинтересованность известная канадская фирма IMAX, телевизионный канал «Дискавери» и ряд других телевизионных компаний США, намеревавшихся вложить финансовые средства в этот интереснейший и перспективный проект. Реализация программы была рассчитана на два года. Однако интерес к ней со стороны научных и коммерческих организаций США в последнее время заметно снизился, намечавшиеся контракты отложены.

Работы на атомной подводной лодке «Комсомолец». Как известно, авария на АПЛ «Комсомолец» произошла в Норвежском море 7 апреля 1989 г.; вследствие пожара, возник-

шего внутри седьмого отсека, лодка затонула на глубине 1700 м. В это время судно «Академик Мстислав Келдыш» с двумя «Мирами» на борту следовало в гидротермальный район ТАГ. По распоряжению президента Академии наук Г.И.Марчука оно, изменив маршрут, направилось к месту гибели подлодки. Наше судно оказалось первым из пришедших в этот район с целью проведения исследований. В этой экспедиции было совершено три погружения глубоководных аппаратов, во время которых произведены осмотр затонувшей лодки, радиационные измерения, отбор проб воды и грунта, сделаны детальные видеозаписи и фотографии лежащей на дне лодки. Затем, в 1991—1995 гг., к месту нахождения АПЛ было проведено еще пять экспедиций с обширным ком-

плексом океанологических исследований (см. табл.3).

В этих работах применялся большой арсенал технических средств, опускаемых с борта судна на тросах и кабелях, а также донные и притопленные буйковые станции. Наиболее тонкие операции по измерению радиоактивности в различных местах лодки, отбору проб воды и взвеси изнутри и в районах наиболее вероятного выхода радионуклидов из нее, отбору проб грунта в непосредственной близости от корпуса лодки, по утановке автономных приборов внутрь корпуса и вблизи него выполнялись пилотами ГОА «Мир»¹³. В течение шести лет осуществлялся океанологический и радиационный

¹³ Сагалевич А.М., Москалев Л.И. От «Титаника» до «Комсомольца» // Природа. 1992. № 7. С.44—51.

Таблица 3
Объем работ на АПЛ «Комсомолец», выполненных в экспедициях 1989—1994 гг.

Вид работ	1989	1991	1992	1993	1994	Итого
Погружение ГОА	3	6	6	16	18	49
Пребывание под водой (час)	39	6	80	191	195	572
Пробы осадков:						
с ГОА «Мир»	3	14	14	28	26	85
дночерпателям	8	29	49	92	38	216
коробчатым пробоотборником	3	2	5	5	6	21
седиментационной ловушкой	—	—	—	16	12	28
Пробы воды (л):	3600	2880	2080	6500	18000	33060
с ГОА «Мир»	37	80	108	280	233	738
заборным трапом Сигсби	2	2	3	5	6	18
Пробы сорбентов на АПЛ	—	12	12	15	16	55
Пробы планктона (л)	—	—	—	—	155	155
Измерители течений	3	18	—	26	12	59
Гидрофизическое зондирование	7	16	58	33	13	127
Автоматические буйковые и донные станции	2	3	—	3	3	11
Годичная донная станция	—	—	—	1/0	1	2/1
Радиационные измерения (час)	30	32	60	162	185	469
Измерения гидрофизических параметров с ГОА «Мир» (час)	5.5	17.5	22	46	31	122
Видеозаписи (час)	2.25	13	19	35	41	110.25
Поиск объекта буксируемым аппаратом «ЗВУК» (час)	—	18	—	9	21	48

мониторинг, который позволял постоянно контролировать радиационную обстановку на АПЛ и вблизи нее, а также установить возможные пути и скорости переноса радионуклидов в пространстве в случае их выхода из корпуса лодки.

Помимо научных исследований на АПЛ «Комсомолец» был проведен целый

комплекс подводно-технических работ, выполнявшихся по принципиально новым технологиям. После того как с помощью ГОА «Мир» было установлено, что подъем лодки нецелесообразен ввиду существенных разрушений в ее носовой части, где находятся две торпеды с ядерными боеголовками, приняли решение о частич-

ной ее герметизации, что предотвратило бы спонтанный выброс плутония в случае нарушения целостности ядерных боеголовок. Эти работы были проведены летом 1994 и 1995 гг. пилотами аппаратов «Мир». Первоначально поставили шесть массивных титановых заглушек на волнорезные щиты торпедных аппаратов — таким способом остановили сквозной водоток через носовую часть лодки. При помощи специальных диафрагм, разработанных в МГТУ им.Н.Э.Баумана с использованием космических технологий, эта часть лодки была заглушена со стороны рубки по большому пролому в корпусе. Затем внутрь поместили пластиковые емкости с водой — так было предотвращено свободное перемещение морских вод внутри носовой части лодки. Последней операцией стало закрытие всех проломов и отверстий с помощью раскладных армированных и рулонных пластырей. Эффективность герметизации была проверена автономным измерителем скорости течений, помещенным внутрь лодки и провисевшим там в течение четырех дней. Эксперимент показал, что скорость потока внутри носовой части лодки снизилась более чем на порядок. Большая заслуга в успешном выполнении этих сложнейших глубоководных операций принадлежит пилотам Е.С.Черняеву, В.А.Ницете и др.

В создании новых технологий принимали участие многие организации России; работы велись под руководством Министерства чрезвычайных ситуаций РФ и Центрального конструкторского бюро морской техники «Рубин».

С использованием аппаратов «Мир» в районе нахождения АПЛ «Комсомолец»

была проведена еще одна уникальная подводно-техническая операция: летом 1993 г. пилоты Черняев и Ницета осуществили зацеп подъемным тросом спасательной капсулы «Комсомольца», лежавшей в полумиле от корпуса лодки. Хотя поднять капсулу не удалось, сам процесс зацепа ее с помощью двух обитаемых аппаратов на глубине 1700 м — поистине уникальная операция, особенно если учесть, что судно, с которого спускался подъемный трос, не имело динамического позиционирования.

Поиск затонувших судов и утерянных приборов. Этому направлению было посвящено несколько экспедиций, в которых наряду с решением поисковых задач, поставленных в контрактных условиях зарубежными организациями, осуществлялся комплекс научных исследований группой ученых Института океанологии и других организаций РАН. Такая методика позволяла организовать экспедиции научно-коммерческого плана, которые давали возможность поддерживать судно и аппараты «Мир» в нормальном рабочем состоянии, проводя очередные ремонты и приобретая запасные части и оборудование. Кроме того, эти экспедиции позволили сохранить уникальный коллектив подводников и экипаж судна, профессионально обеспечивающий погружения. Все это происходило в наиболее тяжелый экономический период в стране (1992—1996), когда бюджетных ассигнований на проведение экспедиций и поддержание флота не выделялось совсем.

В мае 1993 г., например, в Северной Атлантике осуществлялся поиск приотпленных буйковых станций,

которые были поставлены специалистами Кильского университета осенью 1991 г. к востоку от Англии (48°с.ш.) на глубине 3500—4700 м. Каждая из станций была оборудована несколькими седиментационными ловушками, приспособлениями для измерения градиентов температуры (термокосами), измерителями течения. Простояв в толще воды более года, они накопили поистине бесценный научный материал. Буйковые станции представляли собой гирлянду приборов, установленных на различных горизонтах в толще воды и связанных между собой кевларовым тросом. Около дна гирлянда через акустический размыкатель соединялась с якорем. Натяжение гирлянды обеспечивалось с помощью расположенного в 150—200 м от поверхности океана буя и других плавучих средств. Осенью 1992 г. немецкие ученые попытались поднять буйковые станции путем активизации гидроакустических размыкателей, которые должны были по специальной команде с судна отсоединить гирлянды от якорей. Однако ни один из пяти размыкателей не сработал. Тогда немецкие ученые обратились в Институт океанологии с предложением организовать экспедицию для поиска буйковых станций и подъема их на борт судна.

Аппараты «Мир» провели шесть погружений в районе постановки буйковых станций. Их координаты знали достаточно точно по данным спутниковой навигации, однако в каждом случае необходим был поиск с помощью подводного аппарата. Для этого в районах расположения буйковых станций устанавливались донные гидроакустические маяки, позволяющие осуществлять точную навигаци-

онную привязку аппаратов «Мир» во время их работы под водой. Кроме того, «Миры» были снабжены поисковой гидроакустической системой: направление на маяк буйковой станции определялось благодаря постоянно излучавшимся ею акустическим импульсам. Последним звеном в системе поиска служил гидроакустический локатор, который с расстояния 100—150 м мог установить местонахождение якоря, удерживающего буйковую станцию. Обнаружив станцию, пилот подводного аппарата обрезал специальным гидравлическим тросорезом удерживающий ее пластиковый трос, и она всплывала на поверхность. В течение 12 дней были найдены и подняты на борт судна все пять буйковых станций.

Таким образом, в короткий срок была выполнена очень важная для науки работа — спасены научные данные, позволяющие сделать выводы о долговременных процессах седиментации и о гидрофизических процессах в толще вод Северной Атлантики.

Съемка кинофильмов на «Титанике». Технические возможности аппаратов по достоинству оценены не только зарубежными учеными, но и профессиональными киностудиями и телевизионными компаниями. Без сомнения, большую роль в том, что фирмы, занимающиеся киносъемками, обратили на них внимание, сыграло то, что на борту судна «Академик Мстислав Келдыш» установлен не один, а два аппарата: это значительно расширяет возможности глубоководных киносъемок благодаря хорошему освещению и взаимодействию аппаратов на объекте. Немаловажными представля-

ются и совершенная (капельвидная) форма, высокая маневренность аппаратов и большая емкость их аккумуляторов, позволяющая вести работы под водой в течение 15—20 час с использованием в ходе киносъемок дополнительного мощного освещения. Необходимо отметить, что рабочий подводный цикл зарубежных аппаратов «Наутилус» (Франция), «Си-Клиф» (США) и «Шинкай» (Япония), тоже имеющих рабочую глубину 6000 м, длится не более 10—12 час. Таким образом, выбор ГОА «Мир» для глубоководных съемок профессиональными киностудиями, несомненно, означает признание тех высоких технологий, которыми обладает ИО РАН.

В 1991 г. состоялась наша экспедиция на легендарный «Титаник» с фирмой IMAX, которая снимает популярные фильмы на широкую киноплёнку (70 мм), а затем демонстрирует их на громадный экран (600 м²) в специальном кинотеатре (таких кинотеатров у IMAX сейчас более 150). Каждый кадр фильма несет на три порядка больше информации, чем в обычном кино. Огромный экран, специальная проекционная аппаратура и многоканальное аудиосопровождение создают для сидящих в зрительном зале осязательный эффект присутствия. Фильмы, создаваемые этой фирмой, имеют большое общеобразовательное значение, и участие в таких съемках — несомненно, большая честь.

Особенность киносъемок на «Титанике», во время которых «Миры» совершили 17 погружений, состояла в том, что громоздкая кинокамера была установлена внутри обитаемой сферы аппарата, а центральный иллюминатор использовался как объектив кинокамеры. Пилот управляет

аппаратом, глядя в боковой иллюминатор, что создавало массу неудобств, но, несмотря на это, все требования режиссера С.Лоу, который работал и как оператор, были выполнены.

В конце 1992 г. фильм под названием «Титаника» был завершен. Судно «Академик Мстислав Келдыш», его экипаж, сами глубоководные аппараты и наши подводники занимают на экране немало места. Разумеется, в нем много времени отведено и глубоководным съемкам с аппаратов «Мир». Кинофильм сделан в полноформатной и укороченной версиях. Он с успехом идет в кинотеатрах IMAX различных стран мира. И это весьма важно для пропаганды достижений российских глубоководных технологий. Ведь немало людей на Земле практически ничего не знают о специфике глубоководных работ и существовании подводных обитаемых аппаратов.

Необходимо отметить, что во время экспедиции 1991 г. были также сняты видеофильм по заказу американской телекомпании CBS (режиссер Э.Гиддингс, 47 мин.), который посмотрело более 30 млн телезрителей США и Канады, и фильм в трехмерном изображении по заказу Национального географического общества США, который демонстрируется в специальных небольших кинотеатрах при аквариумах. В сентябре 1995 г. с аппарата «Мир» снова производились глубоководные киносъемки на «Титанике» при участии кинорежиссера Голливуда Дж.Каммерона. Во время 12 двойных погружений отснято более 30 сюжетов.

ПОСЛЕДНЯЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

На средства, оставшиеся от контракта с Дж.Каме-

роном, удалось организовать в сентябре 1996 г. научную экспедицию судна «Академик Мстислав Келдыш» на гидротермальное поле Брокен Спур, во время которой сделано семь погружений «Миров» на глубины 3—3.5 тыс. м и получены новые данные в области морской биологии.

На сегодняшний день это последняя экспедиция с применением аппаратов «Мир». Вот уже больше года глубоководный комплекс — НИС «Академик Мстислав Келдыш» с двумя аппаратами «Мир» на борту — не работает. Финансовых средств на проведение научных исследований нет. Зависла и современная программа по исследованию гидротермальных полей, разработанная учеными Института океанологии. Нами ведутся переговоры с несколькими зарубежными организациями о проведении научных и научно-коммерческих рейсов, однако окончательной договоренности нет.

К сожалению, по заключаемым нами контрактам все полученные в экспедициях данные принадлежат заказчику. Между тем, имея мы свой пай не только в виде техники, но и в денежном выражении, — все обстояло бы совершенно иначе. Нам вполне хватило бы базового финансирования в 1 млн долл./год: мы смогли бы проводить одну крупную экспедицию по научной программе, да совершали бы еще коммерческие погружения, каждое стоимостью 20—40 тыс. долл. А в мире много исследователей, готовых купить такое погружение, но мало тех, кто способен оплатить целую экспедицию.

Вот и стоит уникальный глубоководный комплекс на приколе в порту Калининграда.

Реактивные струи у молодых звезд

В. Г. Сурдин,

кандидат физико-математических наук
Москва

АСТРОНОМЫ полагают, что хорошо представляют себе жизнь звезды с того момента, как завершилось ее формирование и в недрах начались термоядерные реакции. Но в самом процессе образования звезд до сих пор немало загадок. Одна из них связана с газовыми струями.

При наблюдении формирующихся и молодых звезд все чаще в их окрестности обнаруживаются быстрые потоки газа, напоминающие реактивные струи. Сначала это явление отмечалось лишь у самых массивных и активных звезд, но чем детальнее оказывались наблюдения, тем все менее массивные звезды демонстрировали струи. Похоже, каждая звезда проходит в молодости через эпоху генерации сверхзвуковых потоков. Само по себе это не странно: сжимаясь из обширного вращающегося облака в небольшой объект, звезда обязана освободиться от избытка энергии и углового момента, иначе ее

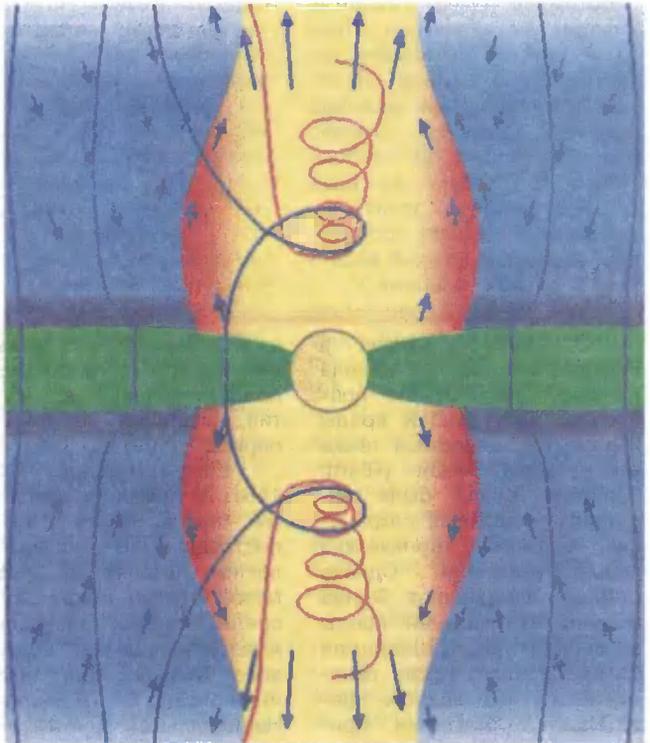
сжатие будет остановлено центробежной силой. Причем звезда должна потеть, как минимум, 99.99% исходного углового момента. Это, так сказать, механическая проблема звезды, но есть еще магнитная: при сжатии облака вместе с газом сжимается и «вмороженное» в него межзвездное магнитное поле, давление которого тоже препятствует сжатию, поэтому формирующейся звезде желательно избавиться и от излишков магнитного поля.

Долгое время механи-

ческая и магнитная проблемы формирования звезд обсуждались отдельно. Но оказалось, что их решение лежит в одном русле, да еще проливает свет на гораздо более масштабное явление — выбросы релятивистских газовых струй из активных ядер галактик. Решение нашли астрофизики Р.Оуед, Р.Пудриц (Университет МакМастер, Канада) и Дж.Стоун (Мэрилендский университет, США), рассчитавшие гидродинамическую модель движения газа с магнитным полем в окрест-

© В.Г.Сурдин

Протозвезда в стадии аккреции и формирования газовых потоков. Газ из облака (голубой) падает на вращающийся вокруг звезды аккреционный диск (зеленый), увлекает за собой магнитное поле. Быстрое вращение центральной части диска закручивает силовые линии (показаны разным цветом для наглядности) и формирует из них спиральные «шнурки», выталкивающие газ вдоль оси вращения.



ности массивного объекта¹. При этом природа центрального объекта не оговаривается: это может быть молодая звезда, компактный объект в двойной системе или гигантская черная дыра в ядре галактики; соответствующим будет и масштаб явления.

С помощью трехмерного магнитогидродинамического моделирования авторы увидели, как взаимодействует магнитное поле сжимающегося облака с его газом: падающий на звезду газ увлекает за собой «замороженное» поле; достигнув аккреционного диска, он продолжает движение к звезде, увеличивая скорость вращения; увлекаемые газом магнитные силовые

линии закручиваются при этом штопором, отчего вся система приобретает свойства шнекового конвейера. На рисунке видно, что уже уплотнившееся спиральное магнитное поле начинает толкать газ вдоль оси вращения в обе стороны от звезды, при этом само поле играет роль трубы, вдоль которой происходит ускорение газовых потоков.

От напряженности магнитного поля и массы центрального объекта зависит, насколько далеко полетят сверхзвуковые газовые потоки: у протозвезд они вытягиваются на расстояние в несколько световых лет, а из ядер галактик должны тянуться на миллион световых лет, что и наблюдается в действительности. Любопытно, что эта изящная модель смогла объяснить не

только причину ускорения потоков, но и их строение. Дело в том, что ускоряющийся вдоль оси вращения газ находится под влиянием нескольких конкурирующих сил — газового давления, магнитного давления, центробежных эффектов. Возникающие в результате их взаимодействия колебания плотности газа приводят к дроблению непрерывного потока на отдельные «вагончики», мчащиеся друг за другом. Это явление, обычно называемое «узелками потока», наблюдается как у формирующихся звезд, так и в ядрах галактик. Теперь численная модель объяснила природу узелков. Таким образом, теория Оуэда, Пудрица и Стоуна позволила сделать важный шаг в познании эволюции звезд и галактик.

¹ Ouyed R., Pudritz R.E., Stone H.M. // Nature. 30 January 1997.V.385. P.387, 409.

КОРОТКО

С 1992 г., когда в Рио-де-Жанейро прошла Конференция ООН по проблемам окружающей среды и развития, известная также как «Саммит Земли» («Earth Summit»), остро была поставлена проблема сохранения влажных тропических лесов Амазонии. Однако старший специалист Фонда защиты окружающей среды в Вашингтоне С.Шварцман (S.Schwartzman) после ознакомления с докладом правительства Бразилии при-

шел к выводу, что выжигание и вырубка не только не приостановлены, а, напротив, возросли на 34% за период с 1991 по 1994 г.

Если в пожарах 1990—1991 гг. погибло около 11 км² лесов, то в 1994 г. пострадало 15 тыс. км². О лесных потерях за 1995 г. Министерство окружающей среды, водных ресурсов и Амазонии еще не подготовило данных, но эколог Ф.Фирнсайт (P.Fearnside; Национальный институт по

исследованию Амазонии) полагает, что они скорее всего покажут увеличение площадей вырубленных и выжженных лесов. Президент Бразилии Ф.Кардозо (F.Cardoso) объявил о ряде инициатив, направленных против незаконной рубки, а также о планах расширения на 50—80% площади тропических лесов, находящихся в частном владении.

Environment. January-February 1997. V.39. № 1. P.23 (США).

Дербник — «дамский сокол»

В. В. Ивановский,

кандидат биологических наук

г. Витебск (Белоруссия)

СРЕДИ пернатых хищников Белоруссии, пожалуй, не найти более изящной и отважной птицы. Внешне дербник (*Falco columbarius*) — уменьшенная в два раза копия самого крупного сокола северной Палеарктики — кречета (*F. gyrfalco*). От кобчика и других мелких соколов наш герой отличается короткими узкими крыльями (в размахе всего 52—62 см), которые в сложенном состоянии тем не менее покрывают две трети хвоста. Клюв у дербника маленький, пальцы длинные и тонкие, когти очень острые. Самки несколько крупнее самцов: масса самок около 200 г, самцов — около 170 г.

Взрослые самцы сверху светло-сизые, лишь зашеек рыжеватый, да на конце хвоста темная полоса. Низ — светло-рыжий с темными продольными пятнами. Маховые перья серые, рулевые — светло-сизые с широкой предвершинной полосой. Молодые по окраске очень похожи на самок: верх тела буроватый, изредка присутствует сизоватый налет, низ — светло-охристый с темными продольными пестринами и каплевидными пятнами на груди и брюшке, хвост — поперечнополосатый. Голос дербника — высокий и быстро повторяющийся отрывистый крик: «ки-ки-ки-ки».

Едва крупнее горлицы (дербник всего около 30 см в длину) этот миниатюрный сокол — один из самых ловких охотников. Свою до-

бычу (как правило мелких птиц, реже — грызунов) он выслеживает обычно среди невысоких разреженных насаждений (на болотах — это сосновые рощицы грядово-мочажинных комплексов растительности, в агроландшафтах — куртины кустов у опушек перелесков, вдоль шоссе и железных дорог).

Полет дербника отличается стремительностью и маневренностью, но свою добычу он преследует не только на лету, а может схватить и с земли. Охотясь, дербник почти стелится над землей в характерном для него ныряющем волнистом полете и появляется часто неожиданно для своих жертв, напоминая в этом отношении ястребов. Настигнув добычу, он, как истинный сокол, делает настоящую «ставку», правда очень короткую, в полтора-два метра, и в пике хватает добычу сверху.

Дербник — птица Северного полушария. Он встречается на севере Европы, Азии, в Северной Америке. В пределах СНГ распространен, в основном, в лесотундре и лесной зоне вплоть до средней полосы европейской части, в степях Казахстана, горах Центрального Тянь-Шаня и Алтая. По территории Белоруссии проходит южная граница его гнездового ареала. Обитает дербник во всех областях, за исключением Брестской. Мы вели наблюдения за ним в Витебской обл. недалеко от границы с Литвой.

участков дербники появляются в первой половине апреля. Они предпочитают селиться на окраинах обширных верховых болот, имеющих вид настоящей лесотундры с чередованием мочажин, небольших озер и рощиц низкорослой сосны, либо по опушкам сосновых насаждений недалеко от колоний дроздов-рябинников и в защитных лесополосах вдоль дорог.

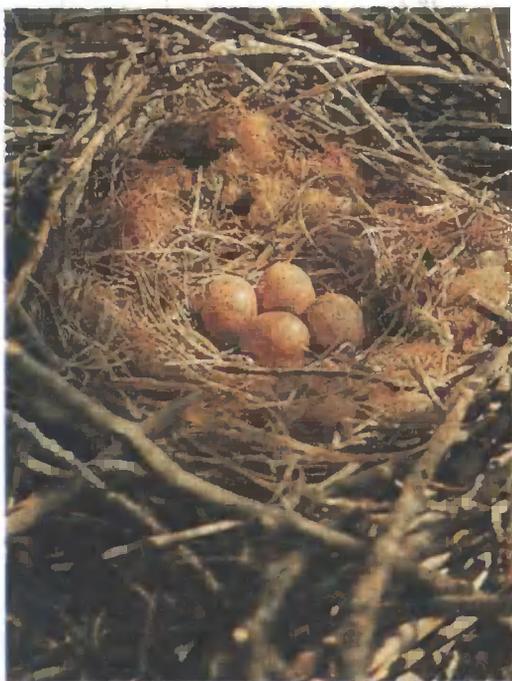
Любопытно, что дербник сам гнездо не строит, а занимает старые сооружения серых ворон, случается даже выгоняет хозяев из приглянувшейся новой постройки и выбрасывает их яйца. При этом дербник выбирает гнезда диаметром около полуметра на вершинах невысоких (от 1.6 до 8 м) сосен, иногда елей. Лишь однажды мы наблюдали за семьей, занявшей гнездо ворона на высоте 22 м. Если на болоте нет вороньих гнезд, дербник обосновывается прямо на земле у ствола болотной сосенки.

Семейная пара во время новоселья ведет себя очень шумно, птицы гоняются друг за другом, кричат, как бы оповещая всех, что место занято, самка подолгу сидит в пустом еще гнезде. Поселяется дербник отдельными парами, гнезда которых нередко расположены на расстоянии двух-трех километров друг от друга.

Первые яйца появляются в гнезде в начале мая, а к 10 числу все кладки завершены. В полной кладке обычно от двух до пяти



*Грядово-озерный комплекс моховых болот — излюбленный гнездовой биотоп сокола дербника.
Здесь и далее фото автора*



Кладка.



Пуховички в искусственном гнезде.

Редкий кадр — на гнезде сидит самец.



Кормление потомства.





Соколица над соколятами.

Выпал из гнезда.



небольших (средний размер 39.6×31.2 мм) яиц, густо покрытых красно-бурыми пестринами, из-за которых почти не видно основного охристо-белого фона. Насиживание длится чуть меньше месяца (27 сут.).

Птенцы вылупляются в середине июля, но их, как правило, меньше, чем было яиц в гнезде. Когда оба родителя у гнезда, то даже беркут не выдерживает обороны — стремительных непрерывных атак и улетает восвояси, не говоря уж о серых воронах, ворогах и других хищниках. Но когда у гнезда остается одна птица, то группе ворон удается разорить его: расклевать яйца или унести птенцов. К сожалению, бывает, что гнезда дербников разоряет человек, чаще всего это коллекционеры яиц.

Малыши покрыты белым густым пухом, в двухнедельном возрасте восковица и лапы у них становятся желтыми. У птенцов дербника в отличие от пустельжат передний наружный палец не равен, а длиннее внутреннего. Лапы детенышей дербника и чеглоков очень похожи, их можно отличить только по числу покрывающих наружный передний палец роговых щитков: у дербника их 10—11, а у чеглока — 13—16.

Самка не расстается с пуховичками ни на минуту, в холодную погоду она согревает их, в жаркие дни — стоит, создавая тень полурасправленными крыльями.

Самец тоже в заботах: ему надо прокормить себя, птенцов и самку, которая в это время не охотится. Дербник — очень смышленная птица. Помимо описанных способов охоты можно добавить еще несколько из собственных наблюдений. Так, я не раз видел дерб-

Перед первым полетом.

ника, подолгу сидевшего на копешках соломы в ожидании появления полевки. Неоднократно приходилось наблюдать, как этот хитрый охотник сопровождал пасущееся стадо, ловя мелких птиц, которых спугивали из высокой травы коровы. С этой же целью он может сидеть на проводах электролиний вдоль железных дорог, поджидая поезд, грохот которого пугает птиц, затаившихся в густых защитных зарослях.

Когда птенцы начинают оперяться, на охоту вылетает и самка. Нередко она охотится вместе с самцом — это незабываемое зрелище. Один сокол летит очень низко между кустами, заставляя птиц подниматься в воздух, а второй с высоты 30—50 м старается поймать их, делая настоящие соколиные «ставки». Здесь дербник, конечно, уступает чеглдку и тем более сапсану, однако он проявляет чудеса акробатики в заключительной фазе броска, поэтому жертве редко удается уйти от этой двойной атаки.

Во времена расцвета соколиной охоты дербник был излюбленной птицей аристократок, его так и называли — «дамский сокол». Дербников всегда пускали парой и любовались неповторимым воздушным спектаклем.

В рацион дербника Белоруссии входит около 30 видов птиц и несколько видов мелких млекопитающих, причем его меню зависит от местожительства. В культурном ландшафте он ловит полевых жаворонков



и домовых воробьев, а на болотах — молодняк мелких куликов (чибиса, золотистой ржанки, фифи, а чаще травника). Не упустит дербник случая поймать кукушку, залетевшую на болото отложить яйца в гнезда трясогузок, коньков и других мелких птиц. В июле, когда молодые скворцы кормятся на болотах, дербники почти полностью переключаются на них. Под гнездом, в гнезде и под присадами, где дербник оципывает добычу, всегда можно найти остатки его жертв. От мелких птиц остаются только перья и лапки, а от более крупных (кукушек, куликов) настоящие соколиные поеди — пояс передних конечностей с целыми крыльями. Нам ни разу не встретились в его гнездах остатки ласточек или стрижей; зная это, всегда можно с уверенностью различить гнезда дербника и чеглока.

Птенцы начинают покидать гнездо примерно через 25 дней после вылупления. В наиболее ранних выводках это происходит уже 7—10 июля, в поздних — только с

21 июля. Из 19 находившихся под нашим контролем пар только 13 смогли вырастить птенцов до вылета, причем на каждую успешно размножающуюся пару в среднем приходится всего по два-три слетка. А между тем дербник давно включен в Красные книги Эстонии, Латвии, Белоруссии и готовится к включению в список краснокнижных видов Литвы. Там гнездование дербника отмечено пока только в четырех местах: в начале 60-х годов А. Вайткявичюс встретил его на верховых болотах Каманос и Тирелис на севере Литвы, а в 80-х гнезда дербника обнаружил Б.Шаблявичюс в восточной Литве — в Игналинском и Молетском районах.

В Белоруссии удастся сохранить дербника, если защитить его основной гнездовой и охотничий биотоп — моховые болота. Чтобы привлечь дербника в места, где нет гнезд серых ворон, необходимо строить искусственные гнезда в кронах невысоких сосен. В руках человека дальнейшая судьба этого изящного «дамского сокола».

Почему в России исчезли дрофы?

В. П. Белик,

кандидат биологических наук
Ростовский педагогический университет

УДИВИТЕЛЬНАЯ птица дрофа (*Otis tarda*), издревле обитавшая в южнорусских степях, во все времена привлекала к себе внимание человека как объект охоты. Много упоминаний о ней содержится в текстах античных авторов — Аристотеля, Страбона, Плиния Старшего и др., — неоднократно описывавших Скифию. Знали птицу и первобытные славянские племена. А для русских колонистов, осваивавших в прошлом столетии степи Новороссии, Предкавказья, Поволжья, дрофа стала излюбленной охотничьей дичью.

Многочисленными красочными описаниями летних охот на эту птицу полнятся все охотничьи журналы конца XIX — начала XX в. Дрофы — наиболее крупные в России птицы, достигавшие порой 19—21 кг веса и большими стадами, подобно овцам, бродившие по целинной степи, — были редким, ценным трофеем самых выносливых и настойчивых стрелков. Однако зимой, когда случались сильные гололедицы, много голодных, обмерзших дроф становилось легкой добычей и людей, и разных хищников.

Уже тогда орнитологи обратили внимание, что эти огромные, заметные птицы

начали покидать сильно выбитые овцами степные пастбища, переселяясь на сельскохозяйственные поля и заросшие бурьяном залежи. Здесь, в посевах зерновых культур или в высоких травянистых зарослях, дрофы могли укрываться от врагов, птиц меньше беспокоили овечьи отары. В начале текущего столетия Г.А.Боровиков, например, даже специально подчеркивал, что в Екатеринославской губернии дрофы целинным пастбищам явно предпочитают пашни. А к середине XX в., видимо,

Стая дроф на озимых.

*Здесь и далее фото
В. Н. Мосейкина*

© В.П.Белик



Однодневный птенец.

почти вся восточноевропейская популяция этого вида гнездилась уже в основном на распаханных землях.

Тем не менее, когда в 50—60-х годах в степях Украины, России и Казахстана резко сократилась численность дрофы, основной причиной этого тревожного явления почему-то весьма единодушно была признана распашка целинных земель¹. Я вовсе не отрицаю, что исчезновение этих птиц тоже относится к одному из печальных итогов нашего бездумного хозяйствования в живой природе. Но все же полагаю, что конкретные факторы катастрофической деградации степных популяций дрофы еще окончательно не выявлены.

К настоящему времени на обширной территории от Карпат до Забайкалья сохранилась, пожалуй, лишь одна крупная, относительно устойчивая гнездовая группировка дрофы — в основном в Саратовском Заволжье. А в целом численность этого вида в России к началу 90-х годов по сравнению с изначальной снизилась как минимум в 100 раз — примерно до 5 тыс. птиц. Для сравнения отмечу, что на гораздо меньшей территории Пиренейского п-ова популяция дрофы насчитывает сейчас около 15 тыс. особей².

В последние десятилетия дрофа охраняется не только во всех странах, где она обитает, но и на международном уровне. Она вклю-



чена во всевозможные Красные книги, проблемам ее охраны посвящено несколько международных совещаний, для разработки практических мер созданы специальные рабочие группы. Биологи и охотоведы России, Украины и Казахстана предпринимают массу усилий, чтобы восстановить численность дрофы в евразийских странах. Но она растет здесь крайне медленно³. И это при том, что многие популяции ее ближайшего родственника — стрепета (*Otis tetrax*), — тоже подвергшиеся глубокой депрессии во второй половине XX в., уже начали восстанавливаться. А журавль-красавка (*Anthropoides virgo*), недавно отнесенный челове-

ком в полупустыни Казахстана и Калмыкии, в настоящее время даже довольно энергично завоевывает новые степные районы⁴.

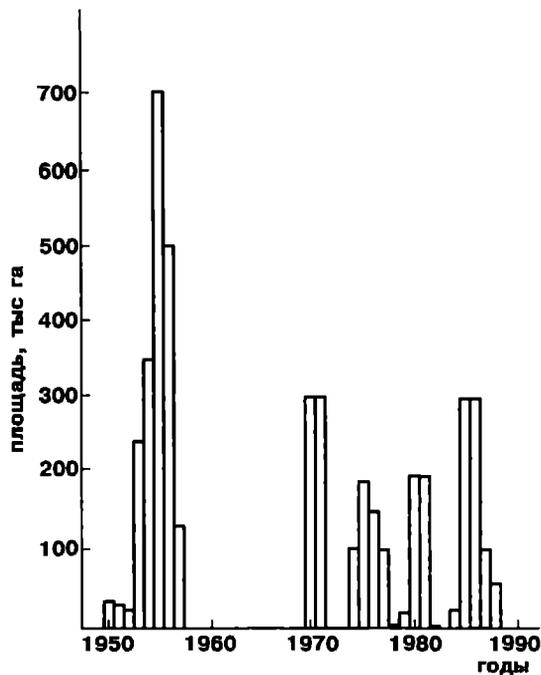
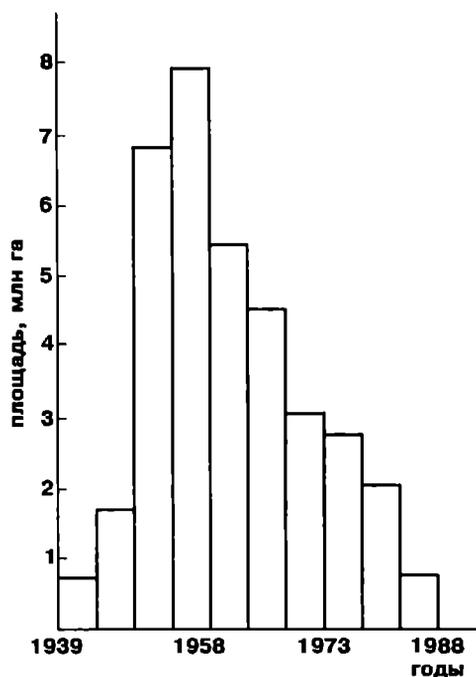
В чем же причина этого парадокса? В поисках ответа на возникший вопрос я обратил внимание, что в середине XX в. синхронно снизилась численность целого ряда степных видов животных: дрофы, стрепета, красавки, степного луны (*Circus macrourus*), обыкновенного и предкавказского хомяков (*Cricetus cricetus*, *C. raddei*) и др. Некоторые из них, в частности красавка и степной лунь, обитавшие в сухих Прикаспийских степях, казалось бы, не должны были пострадать из-за массовой распашки целины, поскольку их основные места обитания в При-

³ Флинт В.Е., Габузов О.С., Хрустов А.В. Методические обоснования стратегии сохранения редких и исчезающих видов птиц (на примере дрофы) // Современ. орнитология-1991. М., 1992. С.223—235.

¹ Красная книга РСФСР. М., 1985. С.246—249.

² Tucker G.M., Heath M.F. Birds in Europe: their conservation status. Cambridge, 1994.

⁴ Белик В.П. Степная птица стрепет // Природа. 1991. № 3. С.62—63; Журавль-красавка в СССР. Алма-Ата, 1991.



Динамика дератизационных обработок зерновыми приманками с фосфидом цинка Волго-Уральских песков (слева) против мелких песчанок (по данным Гурьевской противочумной станции) и полупустынь уральского региона против сусликов (по сообщ. В.Л.Шевченко).

каспии до сих пор сохранились нетронутыми. Причина исчезновения этих видов была явно другой.

Ситуация с ними стала проясняться после того как мне удалось детально изучить материалы по борьбе с основными носителями чумы — сусликами и песчанками. Эти работы (их называют дератизацией), начатые в активных чумных очагах Прикаспия в 30-е годы, особенно широко развернулись с 50-х годов, когда был получен новый, чрезвычайно токсичный и очень стойкий яд — фосфид цинка. Оказалось, что зерновыми приманками, кото-

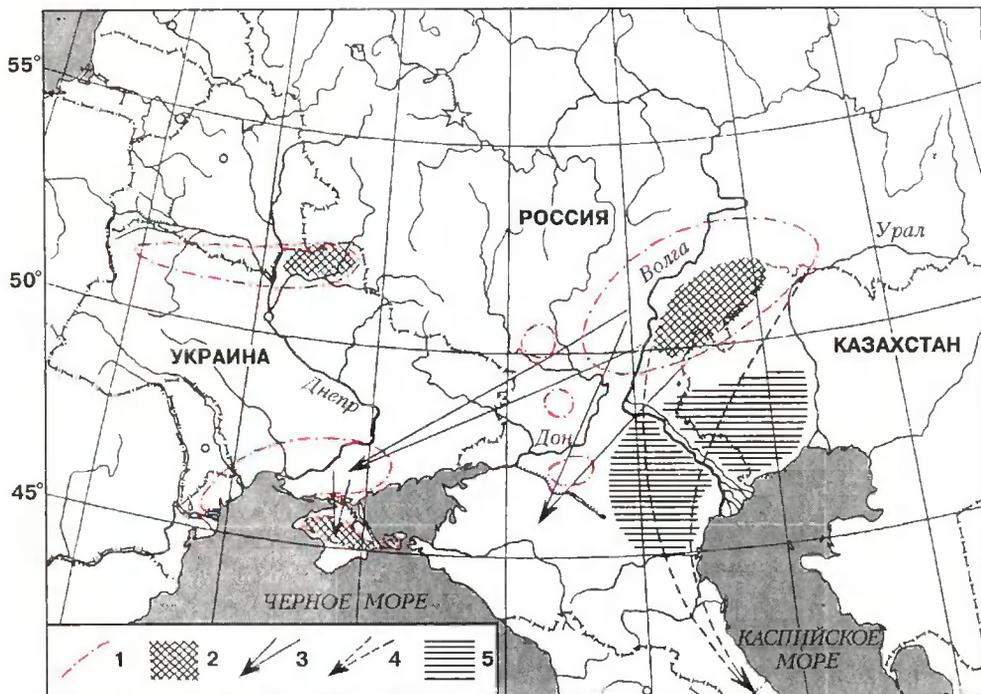
рые были протравлены этим ядом, в Калмыкии и Волго-Уральском междуречье к 1960 г. с помощью авиации было обработано около 25 млн га земель, т.е. примерно по 20—30 тыс. км² ежегодно.

Весной, обычно в марте—апреле, по 0.5—1.5 кг протравленного зерна рассеивалось на каждом гектаре степи. Как установили сами участники этих работ, от 2.4 до 3.5% приманки поедали птицы⁵. По расчетам А.С.Климова, специально изучавшего последствия такой обработки для животных, летальная доза фосфида цинка для жаворонка или воробья сохранилась в двух-семи про-

травленных зернах пшеницы, а для голубя или курицы — в 20—50. Исходя из этого, только в Калмыкии за годы борьбы с сусликами должно было погибнуть до 200 млн мелких птиц или около 20 млн птиц величиной с серую куропатку. А сколько пернатых уничтожено в Волго-Уральском междуречье — даже трудно представить! Судя по экспертной оценке, приведенные цифры, возможно, несколько завышены. Однако можно полагать, что на каждом квадратном километре обработанной фосфидом цинка территории ежегодно погибало в среднем не менее 200 мелких птиц, т.е. около половины всего птичьего населения степных ландшафтов, состоящего в основном из жаворонков.

Следует отметить, что фосфидные приманки применялись не только в Прикаспии. Обычно каждое десятилетие в обширных степных районах случаются

⁵ Лисицын А.А., Кучеров П.М., Колцов В.В. и др. Применение авиации в борьбе с сусликами на территории Волго-Уральского природного очага чумы // Природная очаговость болезней и вопр. паразитологии. Вып.3. Алма-Ата, 1961. С.126—134.



Структура ареала дрофы в Восточной Европе. 1 — границы современных ареалов, 2 — популяционные ядра важнейших гнездовых группировок, 3 — пути миграций на зиму, 4 — исчезнувшая миграционная трасса, 5 — районы массовой борьбы с грызунами.

вспышки численности мышевидных грызунов и сопровождаются сильными эпизоотиями туляремии. Для борьбы с ее носителями, т.е. с мышевидными грызунами, повсеместно вплоть до конца 80-х годов тоже использовались накопленные запасы фосфида цинка.

Специального, квалифицированного изучения токсичного воздействия фосфидных приманок на птиц в восточноазиатских степях не проводилось. А весьма оптимистичные результаты исследований самих дератизаторов, отрицавших массовую гибель полезных животных, по ряду объективных и

субъективных причин вряд ли можно признать репрезентативными. Наглядное свидетельство катастрофического влияния дератизации на птиц было получено лишь в Туве: через месяц после обработки чумного очага фосфидной приманкой там не осталось ни одного монгольского земляного воробья (*Pyrgilauda davidiana*), хотя на соседних, контрольных, участках по-прежнему гнездились по 5—10 пар на квадратном километре⁶.

Применение зерновых приманок с фосфидом цинка должно было пагубно сказаться прежде всего на распространении и численности стадных зерноядных птиц, в частности журавлей и дроф. Действительно, их гибель — иногда сразу большими стаями — отмеча-

ли в разное время многие исследователи: Н.М.Чуркина (1964), А.П.Федоренко (1986), М.Е.Жмуд (1988) и др. О заметном негативном воздействии фосфидных приманок на популяции журавля-красавки свидетельствует, например, анализ данных по учету его численности в Калмыкии. Судя по результатам учетов, первый и наиболее сильный удар по популяциям красавки пришелся здесь на 50-е годы, т.е. на период наиболее активной дератизации. В следующее десятилетие сусликов уже не истребляли, и намечился заметный подъем численности журавля. Но в 70-е годы возобновились чумные эпизоотии и как следствие — усиленная борьба с грызунами. И новый спад численности красавки не заставил себя ждать. Сейчас дератизация в Калмыкии не проводится, и прикаспийская популяция красавки быстро растет, более того — птицы стали

⁶ Иваницкий В.В., Шевченко Е.В. К биологии монгольского земляного воробья в Туве и на Алтае // Соврем. орнитология-1991. М., 1992. С.30—47.



Самка с птенцом у гнезда на поле пшеницы.

расселяться отсюда в соседние регионы⁷.

Теперь почти нет сомнений, что именно фосфид цинка привел к исчезновению в Калмыкии и гнездовой популяции дрофы, до 60-х годов бывшей здесь обычным гнездящимся видом. Самое же тревожное, что с действием этого фактора, по всей видимости, связано и быстрое угасание популяций дрофы, зимовавших в Закавказье — ведь их миграции проходи-

ли через Прикаспий, т.е. районы интенсивных весенних работ по истреблению грызунов. И сейчас в южнорусских степях сохранились лишь те немногие популяции, которые улетали зимовать на запад — в Причерноморье, минуя Прикаспийскую низменность. Однако там зимующие дрофы, судя по сведениям В.А.Бузуна, А.Б.Гринченко и др., в массе погибают во время периодических сильных снегопадов и гололедиц. Вероятно, в значительной мере поэтому-то ареал и численность дрофы в России восстанавливаются так медленно.

Хорошо было бы вновь заставить птиц зимовать в

Предкавказье и Закавказье. Но, к сожалению, управлять их миграциями, изменять миграционные пути и места зимовок биологи пока еще не могут. Однако некоторые изменения подобного рода начались спонтанно. Зимующие дрофы постепенно перемещаются из причерноморских степей в Предкавказье, и здесь, если судить по сведениям А.Н.Хохлова, в последнее время осенью и зимой появляется все больше этих птиц. И нам остается только не мешать начавшемуся процессу, создавая на зимовках режим максимального благоприятствования этим редким степным птицам.

⁷ Белик В.П. Птицы — Aves // Редкие, исчезающие и нуждающиеся в охране животные Ростовской обл. Ростов-на-Дону, 1996. С.272—391.

Гюрзе не хватило мгновенья

В. И. Булавицев,

кандидат биологических наук
Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН
Москва

СОЛНЦЕ выползло из-за горизонта оранжевым расплавом, обратив холодную лазурь небосвода в блекло-бирюзовую марь. Остатки ночной свежести бесследно исчезли в неистовом пекле разгорающегося дня. До самого горизонта тянется унылое однообразие невысоких бугров, поросших кривыми и на вид мертвыми кустами кандыма да редкими куртинками злаков, обильно припудренных сероватым прахом изнуренной небесным жаром земли.

Благословенные ночи кончились, все живое попряталось в глубоких трещинах и норах, спасаясь от немилосердного солнца. Даже привычные к дневному зною пауки и змеи ушли, с открытых раскаленных мест под землю или в полупрозрачную тень чахлах кустов.

Мощное, полтораметровое тело могильно-свинцового отлива, словно оплавленное солнцем, тяжело осело широкой лентой, как пожарный рукав, из которого наполовину ушла вода. Прошедшая ночь была удачной. Теперь толстая, грузная гюрза нежилась в сытом бездумном полубомроке, распластавшись смертоносным зигзагом по скло-

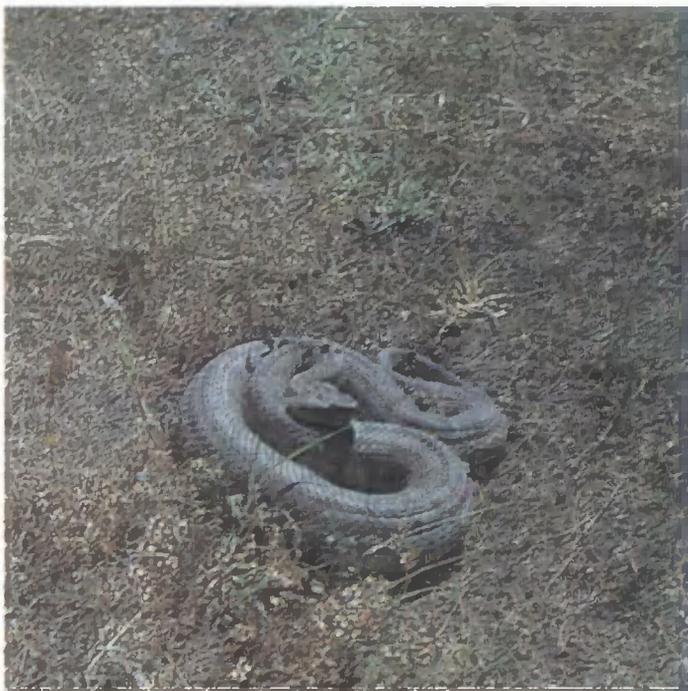
ну бугра, полускрытая под ветвями старого кандыма. Она могла себе позволить расслабиться. У ядовитой твари таких размеров врагов нет, за исключением человека. Но пастухов с их вездесущими овцами в этой части сухой пустыни сейчас не было, да и машины, под колесами которых нередко гибнут обитатели песков, здесь, в глухой приграничной зоне южной Туркмении, не часты.

Бородавчато-жабья голова змеи с отрешенно неподвижным взглядом блекло-желтых глаз, злоуще перечеркнутых вертикальной щелью зрачков, застыла на узловатом корне

кандыма. Но оцепенение и вялость рептилии оказались обманчивыми. Почти молниеносно отбросив назад голову, она застыла, зашипев коротко и глухо, с присвистом, но тут же успокоилась и вяло уронила ее на сухую злаковую кочку.

Потревожили гада комочки песка, выброшенные из небольшой норки, выше по склону бугра. Кто-то старательно отшвыривал чуть влажный и оттого темный песок, не успевший пепельно обуглиться под ощутимо давящим, добела раскаленным солнцем.

Крупные песчинки долетали до головы змеи, но она лежала безучастная к



© В.И.Булавицев

Гюрза (ее нередко называют гробовой змеей) — одна из самых крупных змей предгорий и среднегорий Кавказа и Средней Азии.

Фото А.Т.Божанского



Антля у своей норы. Эта хищная жужелица — эндемик Южной Туркмении — относится к подсемейству жуков, типичных для Африки и Юго-Западной Азии.

Фото автора

мелочам жизни. Песок сыпался из норки гигантской жужелицы — антлии (*Antlia mullerheimi*), углублявшей ее для своего потомства. Для старой гюрзы, встречавшей свое восемнадцатое лето, любовь и заботы о продлении рода были в прошлом. Телесный жар весеннего безумства более не опалил ее, вынуждая искать партнера, отца для своих детей. Да и детей она не могла помнить. Они приходили в этот мир сиротами, вылупляя осенью из мягких кожистых яиц, отложенных ею в норе или под камнем, и сразу начиная полную опасности самостоятельную жизнь.

Крупная, с мизинец величиной, антля, с четырьмя

белыми пятнами-горошинами на черной спине и двумя позади по-лягушачьи выпученных глаз, показалась из-под земли, пяясь и старательно отбрасывая длинными крепкими лапками песок, загородивший вход в ее жилище. Шевеля тонкими прутиками антенн, жук замер на мгновение и, быстро перебирая тремя парами ножек по рыхлому, им же набросанному песку, исчез в норе. Возможно, он почувствовал опасность раньше змеи, мгновением позже вскинувшей широко разинутой, влажно-розовой пастью на врага.

Человек не собирался отступать, предупрежденный яростным шипеньем змеи, обратившейся в доли секунды из лениво-распластаной плоти в сгусток смертоносной злобы, готовой вонзить в тело недруга пару ядовитых зубов, торчащих спереди высоко вздернутой верхней челюстью.

Тень человека накрыла голову разъяренной гюрзы,

поспешно отпрянувшей назад, к основанию куста, к спасительной норе. Угрожающе стяннутое в тугой комок тело, взрывалось глумим шипеньем беспомощной злобы. Но человек наступал, методично отбрасывая палкой массивную голову ошалевшей от страха и злости змеи, тщетно пытавшейся дотянуться до черной дыры убежища.

В какое-то мгновение это ей почти удалось. После особо неистового броска развернутой пасти змеелов отшатнулся, чуть оступившись, и змея заструилась ртутной тяжестью, быстро перетекая в черноту норы.

Для спасенья гюрзе не хватило мгновенья. Давящая глыба сапога тупой болью намертво припечатала ее к раскаленной земле. Она еще долго рвалась, пытаясь освободиться, все более теряя силы.

Измотанная и отупевшая от перенесенного ужаса и напряжения, она лежала на дне брезентового мешка обмякшим тяжелым комом, безучастная, лишь изредка прорываясь к жизни шипеньем коротких всплеск ослабевающей ярости.

Человек был доволен — день только начинался, а редкая и дорогая добыча уже оттягивала плечи.

Поверженная гюрза не ведала своей судьбы, одинаково грустной, будь то сытая, но все же тесная неволя зоопарка или медленная смерть от истощения в серпентарии. Правда, случалось, что змей, ослабевших от многократного взятия яда, выпускали на волю. Могло повезти и нашей гюрзе.

Ландау, Капица и Сталин

К 90-летию Л.Д.Ландау

Е. Л. Фейнберг



Евгений Львович Фейнберг, академик РАН, работает в Отделе теоретической физики им.И.Е.Тамма Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Основные труды — в области физики высоких энергий и элементарных частиц, физики нейтронов, статистической акустики, радиофизики. Неоднократно публиковался в «Природе».

СОЧЕТАНИЕ имен в заголовке этого очерка не нужно воспринимать как случайное или малозначительное. Новые времена раскрыли поразительные, ранее совершенно скрытые и неизвестные стороны судьбы и поведения Л.Д.Ландау и П.Л.Капицы, в которых они переплетаются с личностью Сталина. Материалы, их раскрывающие, — это следственное «Дело» арестованного Ландау и многочисленные письма Петра Леонидовича Капицы Сталину и другим, «второстепенным вождям». «Дело» Ландау было впервые опубликовано в горбачевские времена в журнале «Известия ЦК КПСС», но настоящее, квалифицированное исследование его произвел физик и историк советской физики Г.Е.Горелик. Как сотрудник Института истории естествознания и техники АН, он был в 1989 г. допущен к ознакомлению с «Делами» репрессированных физиков в Архиве КГБ (его результатами я буду в дальнейшем пользоваться)¹.

Поразительные же по смелости, мудрости и внутренней независимости письма Капицы хранились в глубочайшей тайне. Их автор понимал, как жестоко расправились бы адресаты за «публичный подрыв престижа». Их опубликовал многолетний референт и секретарь Петра Леонидовича, ныне заведующий его архивом П.Е.Рубинин².

Но начать надо с политической

© Е.Л.Фейнберг

¹ Горелик Г.Е. // Природа. 1991. № 11. С.93; Он же // Свободная мысль. 1992. № 1. С.45. Материалы самого «Дела» см. в «Известиях ЦК КПСС. 1991. № 3. С.134.

² Капица П. О науке и власти // Библиотека «Огонек». 1990. № 32; Капица П.Л. Письма о науке // Сост. П.Е.Рубинин. М., 1989; Петр Леонидович Капица. Воспоминания, письма, документы. М., 1994.



позиции Ландау и ее трансформации с течением времени. Почему-то мало кто знает (или вспоминает) о том, что в 20-е годы и в первой половине 30-х Ландау, сын преуспевавшего инженера-нефтяника, был искренне и демонстративно просоветски настроен. Бывая за границей, он вызывающе носил красную рубашку и высказывался в соответствующем духе. Много лет спустя он неоднократно говорил и мне, что он материалист и сторонник исторического материализма, но при этом не стеснялся насмеяться над советскими философами-диаматчиками, предписывавшими конкретные «научные» точки зрения ученым-естественникам. Как и немалое число других интеллигентов, Ландау был убежден в преимуществе советской системы перед капиталистической.

Лишь в 30-е годы, по мере нарастания сталинского террора, он, видимо, начал испытывать сомнения. Все-таки даже в 1935 г., когда после убийства Кирова на последних страницах газет стали чуть ли не ежедневно

появляться длинные списки (по 30—70 фамилий) «врагов народа», разоблаченных и расстрелянных то в одном, то в другом областном центре, он опубликовал в газете «Известия» большую статью о советской науке. В ней он подчеркивал, что советский строй более благоприятен для развития науки, чем капиталистический. Это мотивировалось, например, тем, что талантливые люди появляются в равной мере в разных слоях общества, но в капиталистической стране научный талант человека из низов редко может развиваться из-за необходимости значительных материальных затрат для получения высшего образования, а в советской стране оно доступно всем.

Однако прозрение приходило очень быстро. Чудовищные судебные процессы середины 30-х годов, грандиозные масштабы террора не могли не повлиять на Дау. В результате произошло нечто почти неправдоподобное.

В те годы было известно (конечно, неофициально) лишь о нескольких случаях прямых выступлений против сталинского режима. Например, о Рюмине (секретаре Краснопресненского райкома партии) и его группе. О группе молодежи — «молодых мстителей» за репрессированных отцов. Но сам факт, что «Дело» Ландау обнаружено только теперь, показывает, что таких случаев было, конечно, гораздо больше.

И вот десятилетия спустя мы узнаем, что в апреле 1938 г., после страшного мартовского пленума ЦК, призвавшего к еще большему «повышению бдительности», к Дау приходит Корец и говорит, что надо выпустить антисталинскую листовку и распространить ее во время первомайской демонстрации. Согласен ли Дау просмотреть подготовленный текст и дать советы? И Дау соглашается, поставив лишь одно условие: он не должен знать имен участников этого предприятия. Условие понятное. Дау всегда боялся боли и, видимо, опасался, что под пытками может назвать эти имена. Листовку он просмотрел.

Сделал замечания, и она была передана для размножения.

Но... 28 апреля Ландау, Корец, а заодно и друг Ландау Румер (на самом деле не имевший к листовке никакого отношения; как установил Горелик, в ходе следствия обвинение в его причастности к делу о листовке было исключено) были арестованы. Кто-то выдал. Подозрение пало на К., которого я не назову, поскольку, во-первых, это не доказано. Во-вторых, этот человек, когда началась война, добровольно пошел на фронт (подозревающие думают — чтобы смертью искупить свою вину) и погиб. Основанием для подозрения служит лишь то, что именно ему Корец, знавший этого человека с детства, передал текст, чтобы тот со своими друзьями размножил ее на гектографе, изготовленном ими любительски (что и было сделано, хотя качество, по словам Кореца, было плохое, большей частью брак). Но кто именно виноват в «утечке информации», остается неясным.

Эта листовка потрясает и смелостью, и полным пониманием ужаса, царившего в стране, и прямым сопоставлением Сталина с Гитлером. Она лежит в «Деле» Ландау. Горелик держал ее в руках. Ее стоит привести здесь, хотя бы и не полностью.

«Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Товарищи!

Великое дело Октябрьской революции подло предано... Миллионы невинных людей брошены в тюрьмы, и никто не может знать, когда придет его очередь...

Разве вы не видите, товарищи, что сталинская клика совершила фашистский переворот?! Социализм остался только на страницах окончательно изолгавшихся газет. В своей бешеной ненависти к настоящему социализму Сталин сравнился с Гитлером и Муссолини. Разрушая ради сохранения своей власти страну, Сталин превращает ее в легкую добычу озверелого немецкого фашизма...

Товарищи, организуйтесь! Не бойтесь палачей из НКВД. Они спо-

собны только избивать беззащитных заключенных, ловить ни в чем не подозреваемых невинных людей, разворовывать народное имущество и выдумывать нелепые судебные процессы о несуществующих заговорах...

Сталинский фашизм держится только на нашей неорганизованности.

Пролетариат нашей страны, сбросивший власть царя и капиталистов, сумеет сбросить фашистского диктатора и его клику.

Да здравствует 1 Мая — день борьбы за социализм!

Московский комитет Антифашистской рабочей партии».

Во-первых, никакой такой партии в действительности не существовало.

Во-вторых, характерно, что и здесь говорится об измене делу Ленина и Октябрьской революции, правоту которого авторы, видимо, еще продолжали признавать.

Конечно, в этой листовке соединялась трезвость в оценке ситуации, незамутненность сознания, столь характерная для Ландау, с политической наивностью. Это был по существу призыв к революционному восстанию. Можно сказать, что арест Ландау и других членов группы был тем редчайшим, уникальным для сталинских времен случаем, когда людей «посадили за дело» (не исключено, что предательство, донос тоже имели в основе «идейные соображения»).

То, что последовало затем, как это ни было ужасно, содержало и элементы фарса. Некоторые недоуменные вопросы не находят исчерпывающего ответа, и прежде всего главный вопрос: почему замешанных в этом деле Ландау и Кореца (а также Румера) не уничтожили, не раздавили ни сразу, ни потом? Почему, как было принято тогда, не сделали того же с их ближайшими родными, друзьями и даже просто знакомыми? Ведь никто из их окружения не был ни сослан, ни уволен с работы, ни хотя бы лишен избирательных прав (жизнь таких «лишенцев» тоже была ужасна). Ландау освободили через год, но это само по себе — фантастическая история, свя-

занная с Капицей, и мы о ней еще поговорим особо. Корец отсидел в лагере свой срок (и еще добавленные годы) и дожил до горбачевских времен. Румер отработал десять лет в авиационной «шарашке», которую возглавлял заключенный А.Н.Туполев и в которой работали «зэки» С.П.Королёв, В.П.Глушко и многие другие выдающиеся деятели техники и науки. Потом Румер был сослан.

Он рассказывал мне фантазмагический эпизод, когда Берия устроил для всех них «дружеский ужин», сам обносил «гостей» блюдом с пирожками. Разомлевший от всего этого авиаконструктор Бартини, итальянский аристократ, «красный барон» (или маркиз), приехавший в СССР создавать советскую авиамощь, встал и сказал: «Лаврентий Павлович, вот мы все вместе так хорошо, дружески пируем, беседуем, — я хочу вам сказать совершенно искренне и правдиво: я ведь ни в чем не виноват». Берия столь же дружеским тоном (чуть ли не похлопав того по плечу) ответил: «Конечно, не виноват, был бы виноват — мы бы расстреляли. А ты давай: самолет в воздух — ты на свободу». Но все они сидели по специально сконструированным фальшивым обвинениям. В случае же с Ландау был налицо реальный факт — листовка.

Между тем обожавшие Ландау ученики-друзья, еще первого, харьковского «призыва», будущие академики И.Я.Померанчук, Е.М. и И.М. Лифшицы, А.И.Ахиезер, а также В.Г.Левич в общем нормально продолжали свою научную работу и карьеру (их верность своему учителю не вызывает сомнений и ничем не была запятнана). Никак не пострадали ни родные Ландау, ни его московские друзья. Все это было совершенно необычно и даже странно для той эпохи.

Недоумение вызывает и само течение следствия, подробно изученное Гореликом. В продолжение годичного тюремного заключения Ландау многократно допрашивали, применяли широко использовавшийся тогда «конвейер-

ный допрос»: допрашиваемый стоит все время, ему не разрешается ни сесть, ни даже опереться на спинку стула, ни дремать, в лицо бьет яркий свет специальных ламп-прожекторов, а следователь безостановочно задает ему вопрос за вопросом и фиксирует ответы. Это длится много часов. Следователи смеются, а подсудимый все стоит и продолжает отвечать. Как физически слабый Ландау выдерживал это — просто чудо. Усиленно применялись и разнообразнейшие психологические методы. Он сломался и дал показания лишь в августе.

В протоколе допроса от 3 августа 1938 г. он вначале еще полностью отрицает какую бы то ни было свою антисоветскую деятельность, но когда ему предъявили листовку, написанную, как он увидел (и сказал это), рукой Кореца, и признания Кореца в существовании антисоветской организации и принадлежности к ней Ландау, то сдался полностью. Написал чудовищные выдумки о том, как, «начав с антимарксистских позиций в области науки» (!), сблизился еще в Ленинграде с «группой антисоветски настроенных физиков», озлобился после ареста отца, осужденного на 10 лет за вредительство в 1930 г., а затем в Харькове сошелся с антисоветской группой руководящих физиков, которая все более озлоблялась и в конце концов стала контрреволюционной организацией, занимавшейся вредительством в институте (выживание из института якобы неспособных, а на самом деле ценных людей и т.д.), и так пришел к участию в написании листовки. Почти все названные им «сообщники» были уже ранее арестованы. Тем не менее он сказал, что его ученики Лифшиц и Померанчук знали о его взглядах, но им не было известно о существовании организации, к вступлению в которую он их якобы готовил. Он также будто бы рассчитывал как на антисоветский «актив» на академиков П.Л.Капицу и Н.Н.Семенова. Весь этот бред повторен в собственноручно написанных им показаниях, датированных 8 августа.

Но следователи почему-то, располагая такими показаниями, усиленно добивались от него признания во «вредительстве» по двум другим пунктам, казалось бы излишним и ничтожным при наличии листовки и признаний в антисоветской деятельности. Нет, им нужно было (и они добились этого), чтобы Ландау признался еще в том, что: 1) он целенаправленно вел кампанию по дискредитации диалектического материализма и, следовательно, боролся против идеологии Партии; 2) работая в Украинском физико-техническом институте (УФТИ), активно добивался его разделения на два — институт прикладной физики (в УФТИ велись обширные работы такого характера, в частности оборонные) и институт фундаментальных исследований. Тем самым обвиняемый вредительно стремился оторвать фундаментальные исследования от практики социалистического строительства. И в этой «вредительской деятельности» (именно так называя ее) сознался Ландау после месяцев мучений. Все это было бы смешно, если бы не было так жестоко.

Ключ к объяснению этого трагического фарса мы находим, обратясь к такому уникальному материалу, как письма Капицы. В «Природе» рассказывалось, как Капице, тринадцать лет проработавшему в Англии у Резерфорда, осенью 1934 г., в один из приездов в Россию, запретили покинуть родину. Сначала Капица бушевал. Но потом, когда ему пообещали создать совершенно исключительные условия для работы, подчинился. В течение одного года по его детальным указаниям был построен институт, и ему разрешили пользоваться правами директора, в его особом стиле.

Тем не менее он продолжал чувствовать себя оскорбленным этим насильственным актом лишения свободы. Его происхождение и воспитание (отец был военным инженером, генералом, строил форты Кронштадта), длительная жизнь в свободной демократической стране, положение в мировой науке выработали в нем повы-

шенное, совершенно не согласованное с жизнью в СССР чувство человеческого достоинства, внутренней независимости и собственной значимости.

Когда строительство и организация института были почти завершены, он написал свое первое письмо Сталину. В нем он выражает недовольство и ходом строительства, и подозрительностью, исходившей от государственных чиновников. Но главное в том, как написано это письмо всемогущему тирану. Вот несколько выдержек. «Когда более года назад меня неожиданно задержали и резко прервали в очень интересном месте мою научную работу, мне было очень тяжело... Если я вижу смысл в перенесении моей работы сюда, то я до сих пор не понимаю, для чего нужно было так жестоко обращаться со мной... Наконец требовали, чтобы я написал явную ложь, что я добровольно остался... Все это время за мной ходят агенты, даже раз послали обнюхивать меня собаку... Отношение, которое было проявлено ко мне, очень скверно (просто свинство)...»

Это написано внутренне свободным человеком, а не «подданным», не рабом. Сказать «просто свинство» (кому! Сталину!) не посмел бы у нас никто.

Нельзя отделаться от впечатления, что Капица внушил уважение к себе Сталину, презиравшему, как представляется, всех на свете. Это уважение проявилось очень скоро. Во время очередной массовой чистки Ленинграда был арестован Владимир Александрович Фок. На следующее утро (12 февраля 1937 г., в разгар небывалого террора) Капица пишет новое письмо Сталину, в котором, кратко характеризуя Фока как известного ученого, приводит четыре довода, объясняющие, почему с учеными вообще так обращаться нельзя. Напомним их:

«1. Это еще более увеличит ту брешь между учеными и страной, которая, к сожалению, существует и которую так хотелось бы видеть уничтоженной.

2. Арест Фока есть акт грубого обращения с ученым, который, так же как и грубое обращение с машиной, портит качество. Портить же работоспособность Фока — это наносить ущерб всей мировой науке.

3. Такое обращение с Фоком вызывает как у наших, так и у западных ученых внутреннюю реакцию, подобную, например, на изгнание Эйнштейна из Германии.

4. Таких ученых, как Фок, у нас не много, и им Союзная наука может гордиться перед мировой наукой, но это затрудняется, когда его сажают в кутузку...»

Каждый из этих четырех доводов поражает смелостью и чувством независимости. Но особенно замечателен третий довод, почти прямо уподобляющий наш режим фашистскому. Поражает и сам стиль свободного письма, вплоть до простецкой «кутузки». Капица защищает здесь всех ученых.

Это было время, когда уже недопустимо было вступаться за арестованного. Такой поступок делал человека подозрительной, если не преступной, личностью. Господствовал тезис: «Органы не ошибаются».

Но это письмо подействовало немедленно. В течение трех дней Фок был доставлен из Ленинграда прямо в кабинет Ежова (вообразите его реакцию на вопрос вошедшего и поздоровавшегося с ним за руку Фока: «С кем имею честь говорить?»). Фок тут же был выпущен на свободу. Как потом рассказывал мне И.Е.Тамм, выйдя на улицу из страшного здания на Лубянке, он прямо пошел к Игорю Евгеньевичу домой, одолжил у него денег на железнодорожный билет и уехал в Ленинград.

Нетрудно догадаться, что Капица не мог оставаться пассивным и при аресте Ландау. Вот его письмо Сталину.

28 апреля 1938, Москва
«Товарищ Сталин!

Сегодня утром арестовали научного сотрудника Института Л.Д.Ландау. Несмотря на свои 29 лет, он вместе с Фоком — самые крупные физики-тео-

ретики у нас в Союзе. Его работы по магнетизму и по квантовой теории часто цитируются как в нашей, так и в заграничной научной литературе. Только в прошлом году он опубликовал одну замечательную работу, где первый указал на новый источник энергии звездного лучеиспускания. Этой работой дается возможное решение: «Почему энергия Солнца и звезд не уменьшается заметно со временем и до сих пор не истощилась». Большое будущее этих идей Ландау признает Бор и другие ведущие ученые.

Нет сомнения, что утрата Ландау как ученого для нашего института, как и для советской, так и для мировой науки не пройдет незаметно и будет сильно чувствоваться. Конечно, ученость и талантливость, как бы велики они ни были, не дают право человеку нарушать законы своей страны, и, если Ландау виноват, он должен ответить. Но я очень прошу Вас, в виду его исключительной талантливости, дать соответствующие указания, чтобы к его делу отнеслись очень внимательно. Также, мне кажется, следует учесть характер Ландау, который, попросту говоря, скверный. Он задира и забияка, любит искать у других ошибки и, когда находит их, в особенности у важных старцев, вроде наших академиков, то начинает непочтительно дразнить. Этим он нажил много врагов.

У нас в институте с ним было нелегко, хотя он поддавался уговорам и становился лучше. Я прощал ему его выходы ввиду его исключительной даровитости. Но при всех своих недостатках в характере мне очень трудно поверить, что Ландау был способен на что-либо нечестное.

Ландау молод, ему представляется еще многое сделать в науке. Никто, как другой ученый, обо всем этом написать не может, поэтому я и пишу Вам.

П.Капица».

Я полагаю, можно с уверенностью сказать, что какое-то важнейшее указание Сталина последовало немед-

ленно. Иначе невозможно понять причину столь мягкой реакции Лубянки на такое совершенно экстраординарное явление, как злополучная листовка. Никто (может быть, только пока?) не может сказать, в чем именно состояло это указание, но один только Сталин и мог сразу пресечь обычную практику выжигания огнем всего окружения схваченных «преступников». Естественно, можно предположить, что и сама группа, и листовка — провокация НКВД. Но единственной целью подобной провокации могло быть создание громкого судебного процесса или иное шумное и не менее кровопролитное мероприятие.

Ничего подобного не произошло. Вместо этого многие месяцы следователи вытягивали из Ландау признание во вредительстве по описанным выше пунктам. Вместо решительных репрессий «тянули резину». Да и мучили его, по тогдашним меркам, когда изощренные пытки были обычным делом, сравнительно осторожно. Горелик нашел в «Деле» листок бумаги, который он истолковывает как внутреннюю неформальную записку начальству, как итоговый отчет по поводу характера обращения с Ландау, написанный, возможно, в связи с предстоявшим его освобождением. В ней говорилось: «7 часов стоял» (конечно, имеется в виду конвейерный допрос). Далее: «замахивались, не били» и т.д. По тогдашним временам это очень мягкое следствие.

Если все же допустить, что листовка была элементом широко задуманной провокации НКВД, то, быть может, когда дело подошло к завершению, возникли колебания в его целесообразности. Например, был признан неразумным дальнейший «отстрел» физиков. В любом случае вопрос ждет архивных исследований.

Но как бы то ни было — никто кроме Сталина не мог с первых же дней повернуть дело в таком необычном направлении, например дать указание «спустить все на тормозах».

Капица ждет год. Но затем пишет новое письмо, на этот раз второму

лицу в партии и государстве — Молотову.

«Товарищ Молотов!

За последнее время... мне удалось найти ряд новых явлений, которые, возможно, прояснят одну из наиболее загадочных областей современной физики. Но... мне нужна помощь теоретика. У нас в Союзе той областью теории, которая мне нужна, владел в полном совершенстве Ландау, но беда в том, что он уже год как арестован.

Я все надеялся, что его отпустят...не могу поверить, что Ландау государственный преступник... Правда, у Ландау очень резкий язык и, злоупотребляя им, при своем уме он нажил много врагов... Но при всем его плохом характере, с которым и мне приходилось считаться, я никогда не замечал за ним каких-либо нечестных поступков.

Конечно, говоря все это, я вмешиваюсь не в свое дело, так как это область компетенции НКВД. Но все же я думаю, что я должен отметить следующее как ненормальное.

1. Ландау год как сидит, а следствие еще не закончено, срок для следствия ненормально длинный.

2. Мне, как директору учреждения, где он работал, ничего не известно, в чем его обвиняют.

3. Ландау дохлого (sic!) здоровья, и если его зря заморят, то это будет очень стыдно для нас, советских людей.

Поэтому обращаюсь к Вам с просьбами:

1. Нельзя ли обратить особое внимание НКВД на ускорение дела Ландау.

2. Если это нельзя, то, может быть, можно использовать голову Ландау для научной работы, пока он сидит в Бутырках. Говорят, с инженерами так поступают.

П.Капица».

И это письмо не только не вызвало начальственного окрика (что было бы по тем временам естествен-

но), но, наоборот, «сработало». Петр Леонидович через несколько дней получил приглашение на Лубянку к «самому» заместителю наркома НКВД Меркулову и другому известному палачу, начальнику следственной части Кобулову.

Когда он вошел в огромный кабинет Меркулова, то, как в узком кругу рассказывали уже давно, на отдельном столе лежали тома следственных дел Ландау и других. В разных местах они были проложены закладками, и Капице было вежливо предложено ознакомиться с материалом, чтобы убедиться, что Ландау действительно виновен. Но здесь проявился весь Капица — его мудрость и характер: он категорически отказался читать эти «Дела». Никакие уговоры не помогали. Понятно, почему он так поступил. Во-первых, он, конечно, понимал, что пытками можно было выколотить из Ландау любое, самое нелепое признание, например, что он гитлеровский или английский, или, скажем, боливийский шпион, что он готовил террористический акт против Сталина или хотел взорвать Большой театр. Доказать, что это самооговор, невозможно. Но даже если бы ему предъявили что-нибудь почти невинное, например действительно добытые признания во «вредительстве» (дискредитация диамата и стремление разделить УФТИ на два института), то он был бы втянут в нескончаемый спор о правомочности оценки этих фактов как преступления, о степени наказуемости и т.п. Все это сразу отпало благодаря твердости Капицы. Многочасовые уговоры не помогли.

Все кончилось тем, что Ландау был выдан Капице под его ответственность, под расписку:

«Народному комиссару внутренних дел СССР тов. Л. П. Берия

26 апреля 1939, Москва

Прошу освободить из-под стражи арестованного профессора физики Льва Давидовича Ландау под мое личное поручительство.

Ручаюсь перед НКВД в том, что Ландау не будет вести какой-либо

контрреволюционной деятельности против советской власти в моем институте, и я приму все зависящие от меня меры к тому, чтобы он и вне института никакой контрреволюционной работы не вел. В случае, если я замечу со стороны Ландау какие-либо высказывания, направленные во вред советской власти, то немедленно сообщу об этом органам НКВД.

П. Капица».

Благодарность Капице осталась на всю жизнь. Дау сразу окупился в спасительную науку. В течение последующих полутора лет до войны он сделал очень много. Любопытно, что он действительно объяснил замечательные опыты Капицы с жидким гелием, о которых тот писал в письме Молотову, создав превосходную теорию сверхтекучести жидкого гелия. Из нее сразу начали возникать новые результаты, по-новому развернулись и эксперименты Капицы (можно назвать, например, теоретическое открытие «второго звука» Е. М. Лифшицем и впоследствии экспериментальное его подтверждение учеником Капицы В. П. Пешковым). Работы, новые эффекты шли и шли потоком (именно за эти работы много лет спустя Ландау и Капица, получили Нобелевские премии). Капица не обманул Молотова. Интересно бы выяснить: узнали ли об этом Сталин и Молотов? Меркулову это заведомо было безразлично.

Я никогда не спрашивал Ландау о подробностях его ареста и пребывания в тюрьме. Я знал, что при освобождении обязывают все это сохранять в тайне. Но видно было, как он изменился — стал тихим и более осторожным. Сказывался не только страх за себя, но, я думаю, и чувство ответственности перед Капицей, поручившимся за него. Что происходило внутри, сказать не могу. В то время мы еще не были столь близки, как потом.

Но вопросы по поводу неадекватно сдержанной реакции власти на почти совершенно невероятную в то время листовку все же остаются. Если

высказанное выше предположение, что все было следствием прямого указания Сталина,— неверно, то зачем этот фарс с переключением всего внимания на «вредительство» в Харькове? Горелик, с которым мы обсуждали этот вопрос, считает, что просто нужно было использовать накопившиеся еще до ареста «оперативные данные» (доносы, донесения «информаторов» о разговорах, которые вел Ландау, о его поведении, деятельности в УФТИ), которые собирались на него, как и на всех заметных людей³. Все должно было быть наготове, если понадобится уничтожить человека. Не пропадать же было информации о Ландау! Я бы, однако, понял это несколько иначе. Упирая на информацию, собранную еще до листовки, чекисты тем самым доказывали начальству, что они не прозевали Ландау, знали, что он «враг».

Однако оба объяснения кажутся мне менее убедительными, чем предположение о прямом немедленном вмешательстве Сталина. Но достаточно ли для Сталина было уважения к Капице, чтобы остановить дело Ландау? Сталин к тому времени репрессировал многих ученых. Уже были погублены такие талантливые и заслуженные физики, как Л.В.Шубников в Харькове, М.П.Бронштейн, В.Р.Бурсиан и В.К.Фредерикс в Ленинграде, С.П.Шубин в Свердловске. Погиб А.А.Витт из Москвы, были арестованы и многого натерпелись И.В.Обреимов, Ю.А.Крутков, А.И.Лейпунский и т.д. И все же, если вспомнить, какие неограниченные средства тратились на развитие естественных наук, особенно физики, вспомнить самый факт задержания в СССР Капицы, потому что он нужен на родине, и создание для него прекрасных условий работы, приходится признать, что Сталин понимал необходимость развития физики.

Он практически открыл ужасный психологический закон: ученые могут

очень продуктивно работать даже в атмосфере всеобщего страха, даже в заключении. Природу этого закона, мне кажется, легко понять: в условиях страшного террора для ученого полное погружение в науку есть единственная возможность сохранить себя как личность. Были бы только лаборатории и библиотеки, а на них государство не жалело средств. Именно так даже в психологически тяжелой обстановке провинциальная физика дореволюционной России выросла в советские годы до мирового уровня.

Но вернемся к Ландау. Жестокий урок, полученный им, и страх заставили его подчиниться и впоследствии даже принять участие в создании водородной бомбы. Только когда Сталин умер, а Берия был расстрелян, он сказал: «Все, теперь я его уже не боюсь икончаю с этой работой». Но до этого было 14 лет страха.

Смерть Сталина, хрущевская «оттепель» изменили и жизнь в стране, и самоощущение Ландау. Из раскрытых архивов мы знаем, что Ландау, подобно миллионам других, долго еще оставался под бдительным наблюдением «органов». Опубликованы донесения о его не вполне лояльных высказываниях, подслушанных тем или иным способом (и, что самое грустное, в одном таком случае сказано, что информатор — «близкое к Ландау лицо»). Но теперь это не было так страшно и опасно. Вернулся в директорское кресло своего института П.Л.Капица. Научная работа шла по-прежнему успешно. Появилось второе поколение талантливых учеников (И.М.Халатников, И.Е.Дзялошинский, Л.П.Горьков, Л.П.Питаевский, А.А.Абрикосов), у которых у самих уже росли ученики.

Знаменитый четверговый семинар Ландау собирал едва ли не всех ведущих физиков-теоретиков Москвы. Еще не сильно сказывались годы. В конце сороковых (увы, не у нас) появилась новая релятивистски ковариантная перенормируемая квантовая электродинамика, и Ландау, ранее отрицательно относившийся к кванто-

³ См. Ранюк Ю.Н. М.А.Корец и Л.Д.Ландау в кольце харьковских спецслужб // Природа. 1995. № 12. С.86. *Прим. редакции.*

вой теории поля, изучил новый ее аппарат. И.Е.Тамм в это же время, покончив с термоядерным синтезом и бомбой, тоже изучал и использовал этот аппарат. Он жаловался мне, что в его годы (около шестидесяти) это нелегко, но добавлял, что когда он сказал об этом на 13 лет более молодому Ландау, тот признался, что и ему это не так просто. Но, конечно, они превосходно справились со всем, и Ландау вместе с несколькими ближайшими учениками и первого, и второго поколения стал делать здесь фундаментальные работы. Вскрытие трудностей электродинамики (так называемый «московский нуль» — Е.С.Фрадкин из школы Тамма, с одной стороны, Ландау и Померанчук — с другой) повело его дальше, к попыткам построения совсем новых подходов. Все это совмещалось с продолжающимся интересом к широкому кругу проблем квантовой физики, в особенности к сверхпроводимости и физике низких температур. Жизнь продолжалась в прежнем, «доарестном» стиле. Дау опять мог сказать про физика, консультировавшегося у него: «Не понимаю, почему он обиделся на меня. Я же не сказал, что он дурак, я только сказал, что его работа дурацкая...»

И тут произошло ужасное. 7 января 1962 г., поехав в гололед на машине в Дубну к своей племяннице (вопреки настойчивому предостережению опытного автомобилиста Е.М.Лифшица, с которым он специально советовался), Дау попал в аварию. Он сидел сзади, прислонившись телом и головой (сняв меховую шапку!) к стенке, в которую точно ударил встречный грузовик. Дау буквально расколослся — травма черепа, груди, тазобедренного сустава. Доставленный в ближайшую больницу, он был без сознания.

Началась потрясающая эпопея по его спасению. Десятки его и не его учеников слетались, чтобы помочь. Превитальственные органы проявили небывалую активность. Его лечением управляли ведущие, титулованные специалисты. Вызванный из Чехословакии

крупнейший нейрохирург записал в журнале, что «травмы несовместимы с жизнью». Приехавший из Канады другой, не менее значительный специалист оставлял надежду. Несколько раз констатировали клиническую смерть Ландау, из которой его выводили.

Физики принимали свои меры. Главную роль в этой группе играл, конечно, необычайно деловой, четкий, глубоко переживавший трагедию Е.М.Лифшиц. Узнали, что в одной клинике работает талантливый нетитулованный молодой врач Сергей Николаевич Федоров, который «вытягивал» людей из безнадежного состояния. Добились того, что его пригласили. Он практически переселился в палату Ландау, выбрал себе помощников. Его роль оказалась очень велика. Физики организовали четкую систему помощи.

В больнице была выделена комната, где круглосуточно, сменяясь по графику, у телефона дежурил кто-либо из них, на кого можно положиться. У этого дежурного были списки 223 телефонов — отдельно телефоны врачей-специалистов, учреждений, которые могут понадобиться, телефоны тех, у кого есть своя машина, чтобы послать за специалистом или в аэропорт, привести присланное из-за границы рейсовым самолетом редкое лекарство, и т.д. Едва ли не каждый имел какое-либо поручение. Например, врачи сказали, что для искусственного питания нужно ежедневно иметь свежеснесенное яйцо. Разыскали на Ленинградском шоссе женщину, разводившую кур, и академик Померанчук ежедневно доставлял такое яйцо в больницу. Многие приходили «на всякий случай». Но Ландау оставался без сознания.

Его (и всю систему помощи) перевели в нейрохирургическую клинику им. Бурденко. Я жил недалеко и часто заходил туда. Меня раза два привлекали, когда нужно было (вместе с Лифшицем) встретиться с врачами, уговорить их что-то сделать. Но снова и снова, когда мы заходили в палату, где на высоком ложе на спине лежал Ландау, и пытались словами вызвать его реакцию, следили за движением

его зрачков и ресниц, все оставалось по-прежнему. Однако успехом было уже то, что он оставался жив.

Наконец настал день (через три месяца!), когда сознание стало возвращаться, а затем, казалось, вернулось. Я помню, как впервые, ожидая в коридоре, когда его привезут на инвалидном кресле от зубного врача, еще издали услышал приветственный возглас. Более того, потом, когда я сидел у его постели и разговаривал, он по какому-то поводу прочел мне длинное стихотворение чуть ли не по-датски — обычное его ребячливое хвастовство знанием языков. Наступило последнее шестилетие его новой жизни. Но это была уже не настоящая жизнь и во всяком случае не настоящий Ландау.

Однажды высшее врачебное руководство торжественно объявило, что лечение закончено, больной восстановлен, а один из главных экспертов заявил даже, что интеллектуально он восстановился до уровня провинциального профессора.

Увы, это было тупое хвастовство. Не могло быть и речи о научной работе. Дау либо жаловался на боли, либо держался весело, с неадекватной улыбкой, разглагольствовал, повторял много раз, что, когда окончательно выздоровеет, примется за реформу школьных учебников. Когда я пытался задать ему научный вопрос по его же старой работе, он уходил от ответа: «Вот пройдет боль в животе, тогда поговорим». Хотя он однажды ездил с женой на чехословацкий курорт, ходить ему в специальной ортопедической обуви было нелегко. Постепенно поток друзей-посетителей стал редеть. Слишком больно было его видеть, да и «незачем». Он мог без конца повторять какие-нибудь старые высказывания.

Как-то летом, когда его поместили на время вместо санатория в больницу Академии наук, а посетителей почти не было, я пришел к нему. В коридоре я увидел, как он идет, поддерживаемый с двух сторон медсестрами. Еще издали он радостно закричал мне: «Женя, я сегодня вспомнил уравнение Дирака!» Это было так же ужасно, как если бы Шостакович радостно сообщил: «Я сегодня вспомнил первые такты пятой симфонии Бетховена». Но отсюда видно было и то, что он понимал неполноценность своего существования.

Пошли погулять по садику больницы (он опирался на палку и на мою руку). Я нарочно спросил его: «Дау, вы слышали важнейшую новость — обнаружено новое нейтрино, мюонное, отличное от обычного. Это же вас прямо касается, не займетесь ли этим?» «Да? — сказал он. — Действительно важно. Ну вот пройдет боль — займусь». Потом пошел другой разговор, который несколько раз он прерывал одной и той же репликой: «Хороший человек Игорь Евгеньевич (Тамм. — Е.Ф.). Но-о-о (многозначительно и с несколько ехидной улыбкой. — Е.Ф.), когда Сталин умер, он жалел!» Действительно, многие (и, каюсь, я в том числе) думали, что вокруг Сталина все люди гораздо мельче его, и будет только хуже. Ландау же радовался.

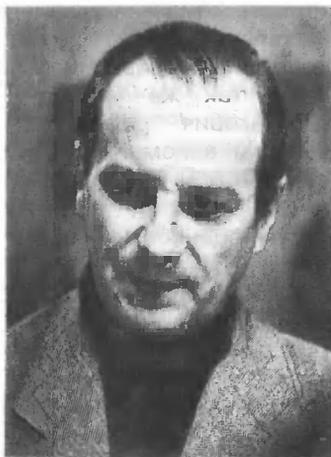
Назавтра я пришел опять и спросил его — помнит ли он про второе нейтрино. Нет, забыл все, что я ему говорил. На следующий день я опять спросил то же. На этот раз он сказал, что помнит, и это важно. Но «пусть сначала пройдет боль».

Не прошла.

1 апреля 1968 г. Дау скончался.

Естественная история древнего человечества

А. А. Зубов



Александр Александрович Зубов, доктор исторических наук, заведующий отделом антропологии Института этнологии и антропологии РАН. Научные интересы связаны с изучением систематики рода Homo. Монографии: «Этническая одонтология» (М., 1973); «Одонтология в современной антропологии» (в соавторстве с Н.И.Халдеевой. М., 1989); «Одонтология в антропофенике» (в соавторстве с Н.И.Халдеевой. М., 1993)

ЭВОЛЮЦИЯ человеческого рода не протекала по одной прямой восходящей линии. Постоянный процесс видообразования порождал различные направления развития, возникали новые виды и подвиды, число которых сейчас составляет предмет острых дискуссий в антропологии. Ведутся они и по поводу разных моделей систематики гоминид.

Попробуем разобраться в естественной истории древнего человечества.

ХАОС В АНТРОПОЛОГИЧЕСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЕ

Антропологи иногда забывают, что систематика человека — это ветвь великого древа таксономии всего живого мира. Отчасти это связано с философскими установками, которые породили представление о непроходимой пропасти между гоминидами и остальными животными, о качественном отрыве человеческих существ от биологического субстрата в связи с возникновением новой модели жизни. По этой причине таксономические построения, относящиеся к гоминидам, оказались в значительной степени изолированными от зоологической систематики и ее основных принципов. В результате возникло положение, которое известный специалист по зоосистематике Г.Симпсон охарактеризовал как хаос в антропологической номенклатуре.

Каждый исследователь, обнаруживший какие-либо костные остатки ископаемых гоминид, стремился выделить новый вид или даже род, нередко преувеличивая таксономический ранг и эволюционную значимость находки. Бесчисленные «плезиянтро-

пы», «телантропы», «явантропы» и даже такие заведомо близкие формы, как питекантроп и синантроп представлялись таксонами родового ранга. Неандертальский человек фигурировал как отдельный вид.

В результате к 60-м годам нашего века было зарегистрировано 105 «новых» видов, из числа которых 63 сразу же были признаны неправомерными в соответствии с законами зоосистематики и номенклатуры, а 38 поставлены под сомнение как «неоправданные»¹.

60-е годы принесли новые веяния во взгляды на классификацию палеоантропологических находок. Их изобилие побудило специалистов обратить больше внимания на повторяемость сходных черт, чем на бросающиеся прежде в глаза индивидуальные различия. Медленно, но неуклонно дробление начало сменяться укрупнением, объединением и снижением таксономического ранга находок.

Это умонастроение захватило подавляющее большинство ученых и привело некоторых из них к изменению своих прежних теоретических позиций. Например, М.А.Гремяцкий, пересмотрев собственную более раннюю таксономическую схему, пришел к выводу о необходимости объединить в один род питекантропа и синантропа. Антропологи М.Ф.Нестурх, Г.Ф.Дебец, Э.Брайтингер, Э.Майр, Дж.Робинсон пошли еще дальше — объединили всех «истинных» гоминид в один род *Homo*, придав им ранг видов. Затем в семействе гоминид оказались и австралопитеки. Особенно радикальной была позиция Б.Кемпбелла: он выделил в пределах рода *Homo* только два вида — человека прямоходящего (*H. erectus*) и человека разумного (*H. sapiens*), причем в последний включил и неандертальца, и человека современного физического типа как два подвида.

Многие антропологи (в частности и автор этой статьи) тогда восприняли

идеи Кемпбелла как чрезмерный крен к «объединительству» — мол, извечный маятник качнулся в противоположную сторону. Однако известный антрополог Д.Джохансон предостерегает от чрезмерного укрупнения таксонов гоминид, мотивируя это недостаточной информативностью костных материалов, которые часто не позволяют адекватно оценить размах различий на уровне вида². Джохансон считает неандертальца отдельным видом и не включает в состав *H. sapiens*. Словно в подтверждение его высказываний, появилась публикация английских специалистов, в которой они доказывают по митохондриальной ДНК, что неандертальцы и линия, ведущая к современному человеку, развивались независимо на протяжении более чем 500 тыс. лет³.

ФАКТЫ ДИКТУЮТ

Однако сейчас есть основания включить неандертальца в состав *H. sapiens* в качестве подвида (*H. s. neanderthalensis*): многие факты пошатнули прежнее убеждение в низком интеллектуальном уровне и эволюционно примитивной организации этого гоминида. Оказалось, например, что скелет и осанка неандертальца из Ля Шапель-о-Сен (позвоночник, положение головы) фактически не отличались от осанки современных людей⁴. Следовательно, его архаизм во многом преувеличивался.

Кроме того, в Сен-Сезер (Франция) костные остатки неандертальца найдены вместе с орудиями типа шательперрон (он свойствен верхнепалеолитическому человеку современного типа). Значит, резкие культурная и эволюционная границы между неандертальцами и современными людьми отсутствуют⁵. А находка скелета неандерталь-

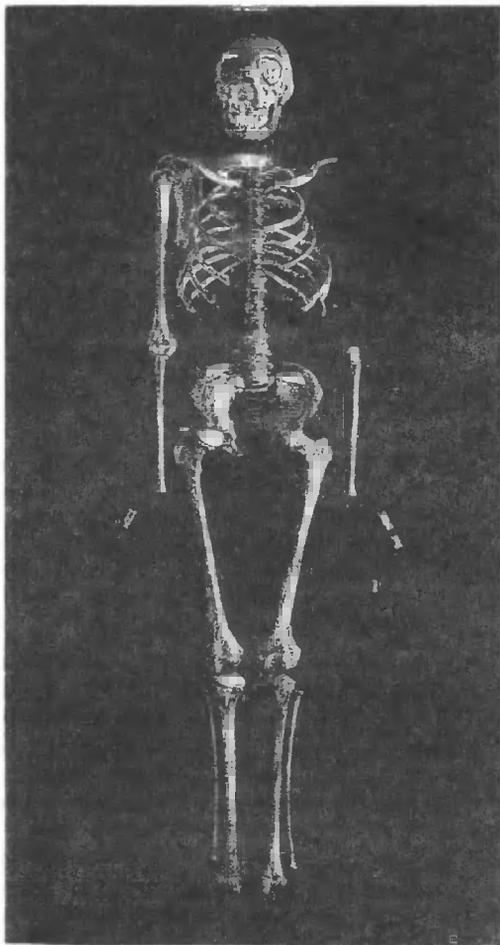
¹ Campbell B. Quantitative taxonomy and human evolution // Classification and human evolution. N.Y., 1963. P.69—79.

² Johanson D., Blake E. From Lucy to language. L., 1996.

³ Ward R., Stringer Ch. // Nature. 1997. V.388. P. 225—226.

⁴ Trinkaus E. // Amer. J. Phys. Anthropol. 1985. V.67. № 1. P.19—41.

⁵ Leveque F., Vandermeersch B. // C. R. Acad. Sci. 1980. D 291. № 2. P.187—189.



Скелет 12-летнего мальчика *Homo erectus* из Нариокотоме-III (Кения). Древность находки — 1,6 млн лет.

ского человека в гроте Кебара (Израиль), захороненного в могильной яме, как будто говорит даже о существовании какой-то похоронной обрядности и о довольно высоком уровне духовной жизни⁶. Кстати, недавно обнаружено еще одно подтверждение высокого эволюционного уровня неандертальского человека: среди тех же останков из грота Кебара найдена подъязычная кость, фактически идентичная по строению такой же кости человека совре-

менного физического типа. Эта находка — существенный аргумент в пользу того, что человек из Кебара, бесспорно принадлежавший к неандертальской фазе эволюции, вероятно, владел членораздельной речью.

Взгляд на неандертальца как подвид *H.sapiens* порождает ряд новых подходов к некоторым другим проблемам. Например, понятие «сапиентация» тогда приложимо уже к стадии формирования неандертальского человека, а начало этого процесса должно быть отнесено к среднему плейстоцену. Строго говоря, можно было бы пойти и дальше, распространив период сапиентации почти до истоков человеческого рода. Такие попытки делались. А.Тома еще в начале 60-х годов предлагал объединить всех гоминид, начиная с архантропов, т.е. питекантропов и синантропов, в один вид — *H.sapiens*⁷.

В самом деле, мы знаем, что архантропы еще 1.42 млн лет назад применяли огонь⁸. По находке останков мальчика-архантропа из Нариокотоме-III (Кения) известно, что скелет *H.erectus* и современного человека мало отличались.

Словом, объединительная тенденция нашего времени в теории антропогенеза — не просто дань всеобщему направлению мысли, не просто стремление восстановить равновесие и соответствие между систематикой гоминид и иерархией других зоологических таксонов, а объективная необходимость, диктуемая фактами. Очевидно, род человеческий — это непрерывно эволюционирующий таксон, который нелегко подразделить на сколько-нибудь обособленные «этажи» прогресса.

БЫЛА ЛИ МЕТИСАЦИЯ?

Мысль о возможности и вероятности метисации между представителями разных стадий эволюции наибо-

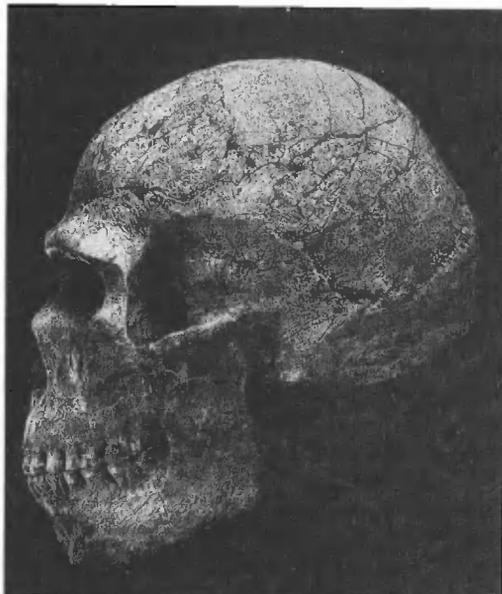
⁷ Thoma A. // Anthropologia Hungarica. 1962. T.5. № 1—2.

⁸ Gowlett J.A.J. et al. // Nature. 1981. V.294. № 5837. P.125—129.

⁶ Arensburg B et al. C. R. Acad. Sci. 1985. Ser.2. V.300. № 6. P.227—230.

лее определенно, пожалуй, впервые высказал тот же Тома. Он пришел к выводу, что морфологически промежуточные палестинские формы ископаемых гоминид могли быть не переходным звеном от неандертальца к современному человеку, а результатом метисации между ними⁹. Это было смелое заключение, ведь в те времена еще не хватало фактических оснований для такого предположения. Гипотеза Тома не встретила всеобщей поддержки, тем более что подобная точка зрения в какой-то мере нарушала строгий порядок, установленный стадильной теорией антропогенеза.

Если для обоснования метисационной гипотезы в 50-х годах не было твердых доказательств, то теперь они есть. Факт сосуществования во времени, притом на близких территориях, представителей разных фаз эволюции гоминид уже не вызывает сомнений. Это доказывают датировки костных остатков шанидарских неандертальцев (46 тыс. лет назад, Ирак) и черепов *H.s.sapiens* из грота Кафзех (92 тыс. лет назад, по другим данным даже 115 тыс. лет, Израиль). В Африке человек современного типа жил уже 120 тыс. лет назад, т.е. в период «пика» господства более архаичных форм. Особенно примечательно, что примерно в то же самое время и на сравнительно близкой территории обитал очень примитивный представитель рода *Homo*, о котором мы знаем по находке черепа в Брокен-Хилл. Группа так называемых пренеандертальцев, к которым причисляют и человека из Брокен-Хилла, настолько архаична, что некоторые исследователи относят их к архантропам или предлагают включить эти формы в один вид *H.heidelbergensis* (название дано по первой находке близ Гейдельберга нижней челюсти одного из представителей этой группы). Следовательно, пренеандертальцы — столь примитивная ветвь человеческого рода — и люди современного физического типа сосущество-



Череп раннего Homo sapiens из Палестины, сочетающий черты современного типа (намечающийся подбородочный выступ, высокий свод) и неандертальского комплекса (довольно сильно развитое надбровье).

вали в смежных регионах в течение тысячелетий.

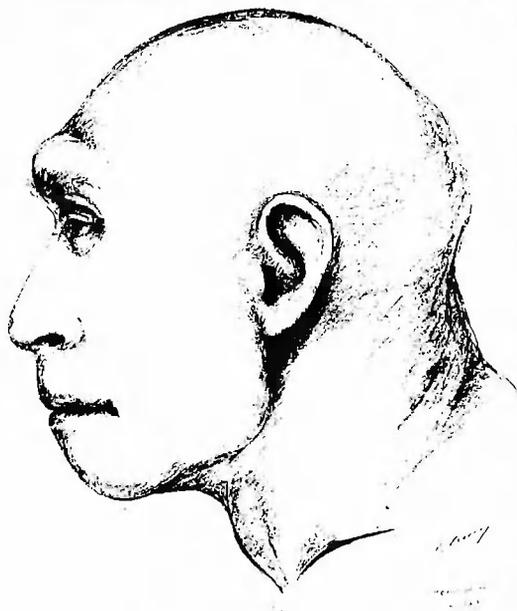
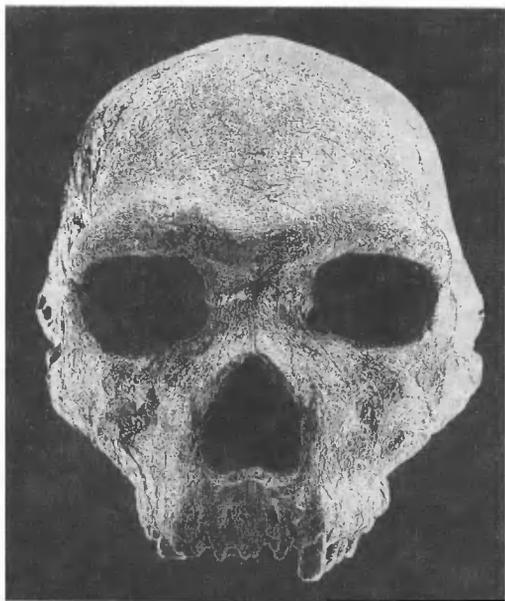
Возможности для метисации были. В Африке, например, могли встретиться представители нескольких эволюционных стадий. Марокканские «питекантропы» дожили там до начала верхнего плейстоцена и были современниками неандертальцев, да и *H.s.sapiens* существовал уже несколько десятков тысячелетий.

А что происходило на территории Европы в тот период (36 тыс. — 25 тыс. лет до наших дней), когда древнее неандертальское население замещалось популяциями *H.s.sapiens*?

Судя по палеоантропологическим и археологическим данным, представители этого подвида пришли в Европу примерно 34 тыс. лет назад из Африки через Переднюю Азию¹⁰. За несколько тысячелетий на сравнительно небольшой территории Западной

⁹ Thoma A. // L'Anthropologie. 1957. V.61. P.469—502.

¹⁰ Boaz N.T., Ninkovich D., Rossignol-Strick M. // Naturwissenschaften. 1982. Bd.69. № 1. S.29—33.



Череп и графическая реконструкция (выполнена Г.В.Лебединской) пренеандертальца *Noto heidelbergensis* из Петралоны (Греция).

Европы возникла весьма интересная ситуация: там сосуществовали «классические» неандертальцы, промежуточные формы и фактически сформировавшиеся популяции *H.s.sapiens*. Эти

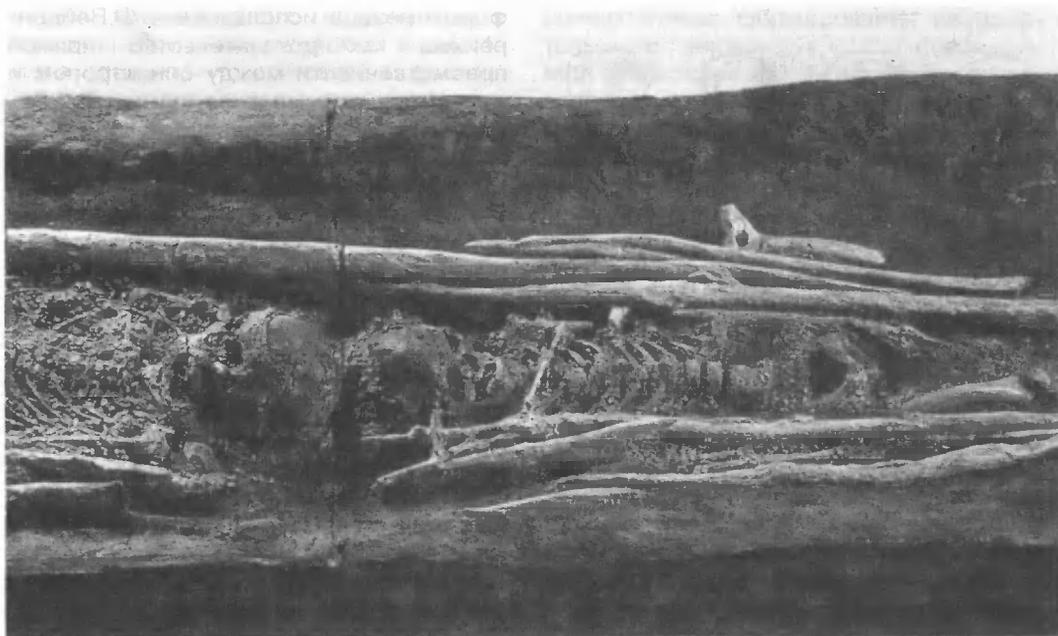
факты, по мнению разных исследователей, могут свидетельствовать либо о метисации, либо о трансформации неандертальских форм в современные.

Каковы же аргументы в пользу того или иного процесса?

Современный тип появляется как бы неожиданно и сосуществует с промежуточными и неандертальскими популяциями. Трудно предположить, чтобы трансформация протекала так стремительно. Конечно, можно возразить, что неандерталоидные черты исчезли не сразу, они сохранялись примерно до XXV тысячелетия, если не дольше (это подтверждают, например, находки на стоянке Сунгирь во Владимирской области). Однако даже 10 тыс. лет — период довольно незначительный для столь существенных морфологических изменений. Если допустить, что скорость трансформации была чрезвычайно высокой, то как объяснить наличие промежуточных черт (тот же Сунгирь) в течение долгого времени?

Сторонники гипотезы трансформации приводят в качестве аргумента усиление черт сапиентного комплекса с течением времени. Но тогда получается, что человек современного типа возник в Европе независимо от других эволюционных ветвей, притом гораздо позже, чем в Африке. Я не придерживаюсь ортодоксальной позиции полицентризма, и мне трудно с этим согласиться. Словом, в Европе скорее можно представить картину метисации пришельцев с местным населением, нежели трансформацию неандертальцев в более прогрессивный таксон. Не выдерживает критики и гипотеза полного истребления неандертальского населения людьми современного типа: последние приобретают неандерталоидные черты уже позднее первоначальной миграции — в Европу, т.е. примесь имеет местное происхождение.

Интересно, что большой миграционный взрыв, повсеместно захвативший популяции *H.s.sapiens*, приходится, видимо, на период 35—30 тыс. лет до наших дней. Именно к этому времени относятся находки костных остатков



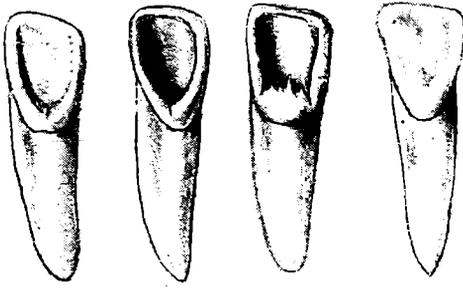
Центральная часть парного захоронения времен верхнего палеолита (25 тыс. лет). Скелеты 9-летнего мальчика и 14-летней девочки (стоянка Сунгирь, Владимирская обл.).

Реконструкция головы девочки из Сунгирского захоронения (работа Т.С.Сурниной).

древних представителей «нашего» подвита вне Африки и Европы, включая даже островной мир (Япония, о.Окинава, 32 тыс. лет; о.Тайвань, 30 тыс. лет). Вероятно, тогда-то и закрепилось окончательно господство нового подвита в Старом Свете и он, вероятно, впервые вступил в пределы Нового Света. При таком огромном масштабе миграции могла происходить повсеместная метисация с локальными популяциями гоминид. Они и придали своеобразие потомкам разных волн мигрантов и способствовали формированию современной картины расовой дифференциации.

Но реализовалась ли метисация всюду, где для нее были предпосылки? Отнюдь. В Африке, например, первые популяции *H.s.sapiens*, очевидно, просто вытеснили более древних гоминид, почти не смешавшись с ними. Зато заселив Европу, пришельцы с востока





Типы верхних резцов человека (по: Ю.Мидзогути). Слева направо: типы 1, 2, 3 и промежуточный вариант.

скорее всего ассимилировали какую-то часть местного населения. В чем была причина столь разного поведения людей современного типа?

Можно допустить, что более 100 тыс. лет назад, когда *H.s.sapiens* столкнулся в Африке с поздними архантропами или представителями *H.heidelbergensis*, между этими двумя эволюционными стадиями все же существовал некий биологический (и, конечно, культурный) барьер, который препятствовал метисации. В Европе же барьер между прогрессивными восточными пришельцами и некоторыми популяциями неандертальцев был значительно менее выражен: культурный разрыв между ними, как думает большинство современных исследователей, не стал непреодолимым.

О метисации, происходившей в период активных миграций, можно судить по характерным особенностям современных рас, в частности по таким нейтральным и стабильным показателям, как одонтологические маркеры, т.е. особенности морфологии зубов¹¹. Например, лопатообразная

форма резцов использована Ф.Вейденрейхом как доказательство прямой преемственности между синантропом и современными монголоидами. Я.Я.Рогинский как моноцентрист выдвинул альтернативную гипотезу. Он считал, что расселяющийся *H.sapiens* приобрел некоторые черты (среди них и лопатообразные резцы) локальных популяций гоминид благодаря метисации. На востоке Азии такой формы резцы унаследованы от синантропа или его непосредственных потомков.

В принципе такая точка зрения оправдана. Но не следует забывать, например, что резцы европейских неандертальцев имели в основном лопатообразную форму и были очень сходны с резцами синантропа. Не унаследована ли эта форма зубов от неандертальца еще до широкого расселения человека современного типа на восток?

У первых представителей человеческого рода — *H.habilis* — лопатообразная форма резцов отсутствовала, преобладал «западный» морфотип — как у современных европеоидов и негроидов Африки (по классификации японского одонтолога Ю.Мидзогути — это тип 1). Этот тип, видимо, существовал на африканском континенте в эпоху *H.erectus*, включая поздние его варианты, в той или иной мере выражен у палестинских форм. В верхнем палеолите он очень четко представлен в остатках из Сунгирского погребения и, наконец, доминирует у современного населения всей западной части ойкумены (Европа, Африка). Создается впечатление, что в западных регионах чрезвычайно долго сохранялся африканский вариант структуры верхних резцов.

В Азии картина совершенно другая. Там, начиная с древнейших представителей *H.erectus*, господствуют лопатообразные резцы типа 2. Правда, эта форма обнаруживается и у европейских неандертальцев, характеризует некоторые палестинские варианты, а в западных регионах не сохраняется позже палеолита. В Азии же она гораздо сильнее влияла на формирование структуры резцов *H.s.sapiens*, но у современных монго-

¹¹ Эти признаки широко применяют палеонтологи и антропологи для оценки стадии эволюции ископаемых объектов, а также при сравнении современных популяций. В настоящее время система одонтологических показателей детально разработана. См., напр.: Зубов А.А., Халдеева Н.И. Одонтология в современной антропологии. М., 1989.

лоидов все же редко встречается в первоначальном классическом виде. Из этого следует, что западный и восточный одонтологические стволы фактически не развивались независимо, параллельно, если не считать, может быть, нескольких ограниченных во времени периодов изоляции. Вероятно, современный восточный расовый ствол формировался на основе западного за счет примеси местных азиатских форм с характерным для них вторым типом строения верхних резцов.

Но почему же считается, что метисация происходила в Азии, а не в Европе — с местными популяциями? Ведь краниологические материалы свидетельствуют о смешении *H.sapiens* с неандертальцами, причем известны даже ископаемые промежуточные формы. Кроме того, некоторые находки в Палестине имеют и одонтологические свидетельства метисации — средние варианты морфологии верхних резцов (синтез типов 1 и 2).

Вернее всего и в западном, и в восточном регионах ойкумены метисация происходила повсеместно и приводила к образованию таких «синтетических» морфологических вариантов. Но носители типа 1 на западе были многочисленнее, так как генетический вклад неандертальцев, а соответственно и морфотипа 2, намного меньше 50%. На востоке же более многочисленными были носители второго морфотипа, так что именно он получил перевес в последующих поколениях. В периоды относительной изоляции первичных надрасовых стволов образовавшиеся различия за счет генетико-автоматических процессов привели к увеличению концентрации типа 1 на западе и типа 2 (в обновленном метисацией варианте) — на востоке.

«СЕТЕВИДНАЯ» ЭВОЛЮЦИЯ

Как мы видели, по распределению двух типов резцов можно заключить, что *H.sapiens* формировался при активном взаимодействии восточного и западного очагов эволюции гоминид. Происходило оно уже на

ранних этапах формирования неандертальского человека, т.е., по современной терминологии, — на заре возникновения *H.sapiens*. Следовательно, характер эволюции рода *Homo* на всех этапах его становления был «сетевидным» — с участием восточной и западной ветвей антропогенеза. Исключение, может быть, представляет временная изоляция этих ветвей в отдельные периоды существования *H.erectus*. Важно отметить, что «сеть» могла включать разные эволюционные «этажи», взаимодействовавшие между собой и вносявшие свой генетический вклад в общий, единый генофонд рода *Homo*. Картину антропогенеза следует, таким образом, представлять как куст ветвей, соединенных между собой.

Ортодоксальные сторонники полицентризма представляют эволюцию рода *Homo* по-другому. По их данным, расогенетические линии достаточно четко маркируются признаками, которые показывают генетическую преемственность расовых типов, начиная с *H.erectus*. Не исключено, что в этой аргументации есть свой резон. В частности, отдельные проторасы, находившиеся на периферии древней ойкумены, могли без значительных влияний со стороны дать достаточно изолированные линии развития, приведшие к тому или иному своеобразному расовому типу, например линии австралийских аборигенов¹².

Такую форму эволюции в некоторых случаях, видимо, нельзя исключить, но она не везде была правилом. В частности, в Европе не могло быть подобных изолированных эволюционных линий с выраженной преемственностью форм на больших отрезках времени. В.В.Бунак проанализировал краниологический полиморфизм в Европе в период верхнего палеолита и пришел к выводу, что краниологические типы, соответствующие конкретным формам последующих эпох, здесь отсутствовали. «Расы» верхнего палеолита, по Бунаку, не были предковыми формами современных расовых типов,

¹² Thorne A.G., Wolpoff M.H. // Amer. J. Phys. Anthropol. 1981. V.55. № 3. P.337—349.

не имеют определенных ареалов и не могут считаться расами во всем объеме этого понятия. То была лишь часть эволюционной «сети», которая в конце концов привела к становлению более или менее стабильных форм нашего времени.

Подобный характер дифференциации краниологических типов подтвердил немецкий исследователь В.Хенке¹³. Он изучил распределение 192 верхнепалеолитических и мезолитических черепов Европы по девяти измерительным признакам и обнаружил, что широкие и низкие черепа типа Кро-Маньон I и узко-высокие черепа типа Комб-Капель занимают противоположные полюсы. Совокупность проанализированных черепов в целом выглядела аморфной, в ней не проявлялась тенденция к образованию определенных комплексов. Не различались даже верхнепалеолитические черепа от мезолитических: диагностика эпохи дает лишь 57% правильных определений, т.е. невозможно уловить направленность изменений во времени. Мы застаем в данную эпоху в Европе картину морфологической пестроты, в основе которой лежит метисация, происходившая при достаточно большой по тому времени плотности населения.

В проведенных статистических исследованиях анализировались только европейские материалы. В Африке, не говоря уже об Австралии, наследование современным человеком более ранних, в частности верхнепалеолитических, форм выражено как будто определеннее. Так, черепа из Эльментейта, Фишхука, Флорисбада, относящиеся к верхнему палеолиту — мезолиту, имеют черты нынешних расовых типов Африки. Особенности современных вариантов монголоидной расы, видимо, складывались по европейскому типу, т.е. через густую «сеть» линий, в которой направления формирования этих вариантов наметились сравнительно поздно. Об этом свидетельствуют два факта: нейтральный

морфологический комплекс черепа из верхнего грота Чжоукоудянь, а также отсутствие сколько-нибудь выраженной совокупности монголоидных черт у южнокалифорнийской находки из Юхи¹⁴ (21.5 тыс. лет). Впрочем, и все древнейшие краниологические материалы на территории Америки тоже их не имеют.

Если в Европе примерно в то же время был представлен нейтральный, мозаичный тип, который по краниологическим данным даже нельзя назвать европеоидным (пример — Сунгирь), то в Африке и Австралии гораздо раньше уже сложились черты будущих рас: экваториальный вариант, сходный с бушменским; прототасманийский комплекс; прототип грацильного австралоидного варианта.

Очевидно, что формирование современных краниологических комплексов шло по-разному и неодинаковыми темпами в каждом регионе. На большинстве территорий Евразии выделение расогенетических линий с непрерывной преемственностью сильно задерживалось из-за активной метисации при относительно большой плотности населения. В Африке, Юго-Восточной Азии (а затем и в Австралии) такие линии определились раньше и не подверглись значительному смещению. Напротив, древние местные формы, отчасти сложившиеся еще в период первичной дифференциации *H. erectus*, возможно, способствовали стабилизации линий. Метисация там могла быть узколокальной и не нарушала общих направлений расогенеза, а, наоборот, поддерживала их.

Человечество, вероятно, дважды делилось на восточную и западную части. Первый раз это произошло во времена *H. erectus* (или ранее); тогда и возникла «южная пара» очагов расообразования — в Африке и Юго-Восточной Азии. Во второй раз — в эпоху формирования *H. s. sapiens* в Африке, который расселился по всей ойкумене и смешался с местными популяциями; образовалась «северная пара» расоге-

¹³ Henke W. // Z. Morphol. und Anthropol. 1983. Bd.73. № 3. S.279—296.

¹⁴ Rogers S.L. // Amer. J. Phys. Anthropol. 1977. V.47. № 1. P.157.

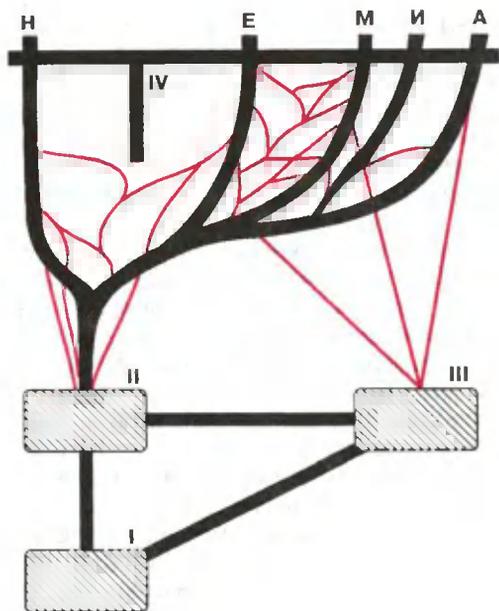


Схема формирования полиморфного внутривидового состава современного человечества. *H* — негроиды Африки, *E* — европеоиды, *M* — монголоиды, *A* — австралоиды, *I* — индейцы Америки. *I* — общафриканский предок африканских (*II*) и азиатских (*III*) архантропов, *IV* — «перекрывающая» миграция *Homo sapiens sapiens*. Видно, что метисация (цветные линии) представителей разных эволюционных ветвей (черные линии), начавшись с архантропов, в дальнейшем усилилась, благодаря чему эволюционное древо приобрело вид довольно густой сети.

нетических очагов: первая — в Европе и Передней Азии; вторая — в Восточной и Центральной Азии, на территории Китая. Протоевропеоидный и протомонголоидный северные очаги активно взаимодействовали друг с другом и отчасти с древними южными центрами. Однако вблизи последних с давних времен формировались и локальные расовые типы. Они не испытали серьезных побочных влияний и сохранили в основных чертах местные направления расогенеза вплоть до наших дней.

В целом представленная картина генезиса современных рас опирается

на активную метисацию и постоянное взаимодействие микроэволюционных линий («сетевидная» эволюция), с той только оговоркой, что эти процессы не везде шли с одинаковой интенсивностью. Вследствие этого линии, ведущие к разным современным расовым типам, имеют неодинаковую древность и генетическую однородность.

Отстаиваемая мною позиция довольно существенно расходится с часто упоминаемой в популярной литературе гипотезой «митохондриальной Евы»: якобы все современные расы произошли в Африке от одной прапопуляции около 200 тыс. лет назад, после чего не было никакой метисации с более примитивными гоминидами. Такой вывод противоречит данным одонтологии и краниологии, которые свидетельствуют, что в расовых типах современного человечества сохранился заметный отпечаток древнейшей дифференциации.

Однако между моей позицией и гипотезой «митохондриальной Евы» есть важное сходство: признается первостепенная роль «перекрывающей», сравнительно поздней африканской миграции древнего *H.s.sapiens* в формировании современного человечества.

Изложенная здесь точка зрения, будучи в общем моноцентристской (единицей центра происхождения *H.s.sapiens* — Африка), сходится с полицентризмом в том, что локальные варианты древних гоминид сыграли ту или иную роль в генезисе основных расовых типов человечества. Каждая раса рассматривается как некоторый итог эволюции всего рода *Homo* в целом.

H.erectus признается большинством исследователей отдельным видом, однако поздние (*H.heidelbergensis* и некоторые неандертальцы), более прогрессивные формы, возможно, уже не были отделены биологическим барьером от *H.sapiens* и могли внести свой существенный вклад в формирование рас современного человека. Расы, таким образом, имеют сложный генотип, составленный разнородными и разноуровневыми микроэволюционными линиями. Они — продукт не только

дифференциации, но и интеграции (метисации). При этом расы, видимо, различаются по «густоте» сети взаимодействующих линий, явившихся итогом локальных направлений микроэволюции.

Вероятно, европеоиды и монголоиды — это наиболее «смешанные» расы: в их генофонд влилось множество микроэволюционных линий, включая неандерталоидные и даже более ранние эволюционные формы, генетическое взаимодействие которых было весьма интенсивным и длительным. Значит, эти две большие расы должны считаться более «молодыми» по сравнению с негроидами и особенно австралоидами, в формировании которых метисация сыграла меньшую роль. Не следует забывать при этом, что нынешние расы «вдвойне» родственны друг другу: ведь для всего рода *Homo* корень один — африканский, а миграции на разных эволюционных уровнях смешали генофонды разделившихся ранее ветвей.

Особое место в расогенетической схеме занимают американские индейцы. В прежних классификациях их нередко просто относили к большой монголоидной расе. Однако подробное и всестороннее исследование не подтверждает эту точку зрения. Аборигенные группы Америки пришли в Новый Свет через участок суши в Беринговоморье еще до того, как сформировались черты современных монголоидов и характеризуются нейтральным типом. А он произошел от недифференцированного единого восточного ствола, давшего впоследствии монголоидов и австралоидов. Современных американских индейцев следует отнести к особой «американоидной» расе, их нельзя включить ни в одну из ныне существующих больших рас. Разнообразие типов аборигенного населения Америки — это следствие нескольких миграций со все большим удельным весом монголоидного компонента в каждой следующей волне. Соответственно самая древняя из них имела наиболее австралоидный облик.

Японский генетик М.Ней считает,

что подвид *H.sapiens* впервые разделился на две микроэволюционные ветви примерно 100 тыс. лет назад, причем одна из них была представлена протонегроидами, а другая — недифференцированным европеоидно-монголоидным стволом, разделившимся значительно позже, около 60 тыс. лет назад.

Одновременно Ней отмечает большую генетическую близость субрасовых таксонов как внутри европеоидной, так и монголоидной рас. Его результаты хорошо подтверждают уже высказанную точку зрения об интенсивном геномном обмене между большими расами Евразии, основные современные черты которых стали окончательно складываться позже верхнего палеолита. Другие же расовые стволы уже давно эволюционировали — формировались свойственные им в настоящее время морфологические комплексы.

Выводы Нея, казалось бы, противоречат идее деления человечества на восточный и западный стволы. Однако никакого противоречия не будет, если допустить возможность интенсивной метисации представителей евро-монголоидной ветви с более ранними гоминидами как на западе, так и на востоке.

«Сетевидный» характер эволюции на всех стадиях антропогенеза, на первый взгляд, не укладывается в принятую сейчас модель систематики рода *Homo*, в которой архантропы выделяются в самостоятельный вид — *H. erectus*. Но, во-первых, не все соглашаются с этим: в настоящее время африканских архантропов объединяют в особый таксон — человек трудящийся (*H. ergaster*), а азиатских относят к *H. erectus*. Во-вторых, между антропологами нет согласия и по поводу верхней границы существования *H. erectus (ergaster)*. Одни проводят ее примерно на уровне 200 тыс. лет до наших дней, включают в этот таксон промежуточные формы *H. heidelbergensis* и называют их «прогрессивными архантропами». Другие же предпочитают относить этих пренеандертальцев к отдельному виду. Вследствие таких раз-

ночтений время, когда архантропы сошли с «эволюционной сцены», оценивается по-разному: 700 тыс. лет назад, 400 тыс. и, наконец, 200 тыс. (возникновение архантропов все согласно относят к 1.6 млн лет назад). Как бы то ни было, таксон уровня архантропа существовал по меньшей мере около 1 млн лет, а скорее всего — дольше, особенно в Азии.

Разумеется, за этот огромный период он должен был претерпеть существенные изменения как за счет сапиентации, так и благодаря образованию боковых ветвей (некоторые из них оказались тупиковыми). Можно думать, что из огромного числа весьма разнообразных по морфотипу и эволюционному уровню популяций архантропов далеко не все они внесли генетический вклад в эволюционный потенциал формирующегося вида *H. sapiens*. Архаичные тупиковые группы, ставшие его современниками, остались за чертой репродуктивной изоляции. Их можно причислить к виду *H. erectus* вместе с ранними, примитивными формами этого таксона. Более продвинутые в эволюционном отношении потомки архантропов образовали вид *H. heidelbergensis* (некоторые исследователи называют его ранним архаичным сапиенсом).

Сейчас невозможно решить, где проходит видовая граница, разделяющая эту группу, видимо, чисто морфологический критерий здесь недостаточен. Упомянутая трактовка таксономической структуры *H. erectus* позволяет примирить идею Кемпбелла, выделившего архантропов в отдельный вид, с моделью, в которой признается возможность метисации некоторой части представительниц этой систематической группы с более прогрессивными формами. Вряд ли можно согласиться с тотальным исключением восточной или западной ветвей архантропов из числа возможных предков *H. sapiens*. Мозаичный одонтологический тип европейских неандертальцев скорее свидетельствует о наличии в генофонде последних как «западных», так и «восточных» черт, унаследованных от разных групп *H. erectus*.

Итак, каково же мнение исследователей в отношении систематики рода *Homo*?

Приведенные здесь рассуждения дают аргумент в пользу сохранения трехвидовой структуры рода *Homo*: *H. erectus*, *H. habilis* и *H. sapiens*. К первому виду, наверное, следует отнести ранние, а также пережиточные формы архантропов, которые скорее всего были репродуктивно несовместимы с *H. sapiens*. Однако сомнительно, чтобы в отдельные виды были выделены африканские архантропы и неандертальцы. Особняком стоит также *H. heidelbergensis*.

Но таксономический статус вида *H. habilis*, окончательно не решен: некоторые исследователи разделяют его на *H. habilis* и *H. rudolfensis*. Тогда число видов в пределах рода *Homo* возрастает до семи: *H. habilis*, *H. rudolfensis*, *H. erectus*, *H. ergaster*, *H. heidelbergensis*, *H. neanderthalensis*, *H. sapiens*.

Если принять эту таксономическую модель, то придется признать, что почти на всех стадиях эволюции рода *Homo* происходило ветвление с образованием новых видов и тупиковых форм.

Несомненно, в цепи промежуточных вариантов, соединяющих австралопитека и *H. erectus*, должны были существовать формы, подобные *H. habilis*, но трудно сказать, составляли ли они реальный вид. Если в новых исследованиях, в частности связанных с определением древности вида *H. erectus*, будет доказано, что он существовал около 2 млн лет назад, то формы, относимые сейчас к *H. habilis*, окажутся либо современниками *H. erectus*, либо даже «моложе» его, а следовательно, образуют боковую ветвь эволюции. Человек умелый при этом остался бы, вероятно, в роду *Homo*, но появились бы новые, непредвиденные проблемы в теории антропогенеза и систематике гоминид.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 96-06-80159).

Nota bene

Океанология. Климатология

Климатическая неустойчивость нарастает

Явление Эль-Ниньо—Южная осцилляция (латинская аббревиатура ENSO) представляет собой наибольшее по мощности возмущение климата Земли с характерным периодом повторяемости через 4—6 лет. Развивающееся в экваториальной части Тихого океана, Эль-Ниньо оказывает заметное воздействие на погоду всего мира, усиливает амплитуду и частоту ураганов, влияет на урожайность основных продовольственных культур и, как следствие, — на состояние мировой экономики. Амплитуда наблюдающегося Эль-Ниньо 1997 г. беспрецедентно велика, и сегодня к этому природному процессу привлечено внимание не только климатологов, но и мировых финансовых бирж.

Что же вызывает Эль-Ниньо, и как оно происходит? Лишь тонкий поверхностный слой Мирового океана (первые 100—150 м) прогрев до температур, близких к температурам атмосферы над его водами. Глубинные воды, даже в тропических широтах, — намного холоднее. Поэтому любые причины, приводящие к существенному перемешиванию океана, вызывают глобальное похолодание.

Перегрев относительно

небольших областей океана весной и осенью порождает тайфуны, они производят ветровое местное перемешивание вод. Но при перегреве обширной экваториальной области Тихого океана, с которого и начинается явление Эль-Ниньо, вступает в игру иной способ перемешивания. Сперва перегрев поверхностных вод увеличивает испарение, в результате чего растет соленость и, следовательно, плотность вод вблизи поверхности. Затем, когда океанские течения выносят соленые воды из экваториальных широт в умеренные, их охлаждение происходит намного быстрее, чем выравнивается соленость с подстилающими холодными водами. В результате на большой акватории происходит «прокидывание» океана — воды с повышенной соленостью опускаются вниз, а их место занимают холодные, но менее соленые воды глубин. Такое опрокидывание и происходит вблизи берегов Чили в декабре—январе, после того как течения вынесут туда перегретые за лето экваториальные тихоокеанские воды.

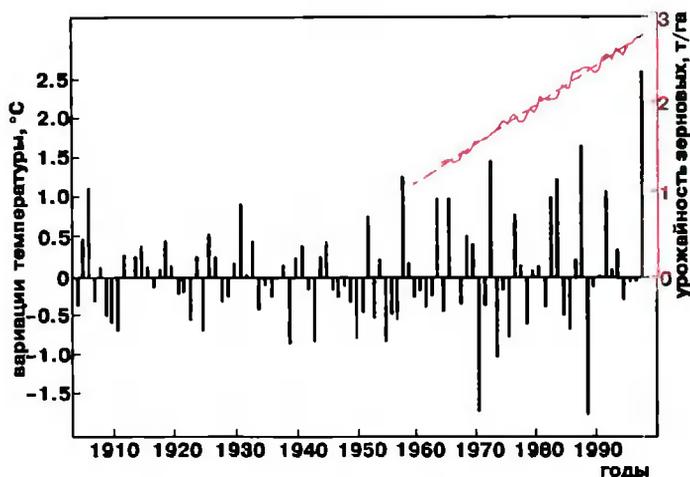
В прошлом данные о температуре океана собирались немногочисленными

метеостанциями и проходящими судами, их обработка занимала долгие годы и при всем ее значении для понимания происходившего оказывалась бесполезной для предсказания погодных возмущений. Однако за последнее десятилетие в Тихом океане были установлены многочисленные буйковые датчики температуры и солености, которые сразу передают собранную информацию на спутники, и эти данные обрабатываются в режиме реального времени. Такая система вместе с компьютерным моделированием погоды позволяет заранее, за 3—4 мес. прогнозировать развитие событий.

Нынешний приход Эль-Ниньо поражает своим размахом¹. В середине 1997 г. был зафиксирован доселе невиданный перегрев экваториальных тихоокеанских вод — на 2.5°C. Максимальные отклонения происходили в 1972 и 1987 гг. (перегрев) и в 1970 и 1988 гг. (переохлаждение), но во всех этих случаях амплитуда не превышала 1.6°C (см. график). Поэтому Эль-Ниньо 1998 г. уже назвали возмущением века.

Что же можно ожидать в первой половине наступившего года. Метеопредсказания пока возможны лишь на 3—4 мес. вперед,

¹ Shukla J. Seasonal Predictions: ENSO and TOGA. Conference on the world climate program: achievements, benefits and challenges, 26—28 August, Geneva, Switzerland.



Интенсивность перегрева экваториальной части Тихого океана в XX в., отсчитанная от средней температуры за период наблюдений с 1951 по 1980 г. На цветной части графика показана среднемировая урожайность зерновых с 1960 по 1996 г. по данным World Watch Institute (CIIIA); штриховая прямая отражает тренд роста урожайности за эти годы.

они более или менее достоверны только вблизи Американского континента. Ожидается, что в январе-феврале над северной частью Тихого океана, в верхней тропосфере, возникнет обширная область пониженного давления, менее контрастные области повышенного давления будут располагаться над Атлантикой и южной частью Тихого океана. Дальнейшее развитие этих аномалий уверенно предсказать пока не удастся, но можно полагать, что погода в предстоящем году преподнесет ряд неожиданных сюрпризов и, не исключено, будет вообще беспрецедентной.

Ряд тихоокеанских температурных аномалий за этот век позволяют говорить, что климатическая не-

устойчивость возрастает. Связано ли это явление с усилением парникового эффекта и антропогенным потеплением климата, можно только предполагать.

В то же время глобальность последствий Эль-Ниньо и его воздействие на мировую экономику зачастую преувеличиваются. Среди общемировых экономических показателей наибольшим флуктуациям, вызванным погодными причинами, подвержен суммарный урожай зерновых. Сравнивая ежегодные вариации урожайности зерновых с изменениями температуры Южной осцилляции, можно убедиться, что их корреляция невелика (0.28% роста урожайности на 1°С температурной аномалии при среднеквадратичном отклонении урожайности от многолетнего тренда, составляющем 2.9%).

Отметим попутно, что в флуктуациях обеих этих характеристик земной погоды отсутствует 11-летняя периодичность, которую могли бы вызывать вариации солнечной активности. Утверждения на этот счет известного российского гелиобиолога А.Л.Чижевского, часто повторяемые и ныне его пос-

ледователями, не подтверждаются многолетними наблюдениями.

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

Космические исследования

Коммерческий полет к астероиду

Объявлено о планах частной американской компании «SpaceDev» послать небольшой (310—350 кг) космический аппарат к одному из околоземных астероидов. Предполагается осуществить запуск в середине 1999 г. В 2000 г. аппарат должен совершить посадку на астероид и провести научные наблюдения с помощью трех приборов: многополосной телевизионной камеры; анализатора химического состава, использующего обратное рассеяние альфа-частиц, рентгеновского излучения и протонов; нейтронного спектрометра.

ТВ-камеру должна изготовить компания «Malin Space Enterprises», анализатор химического состава — Чикагский университет, а нейтронный спектрометр — Лос-Аламосская национальная лаборатория. Затраты на осуществление этой миссии, которые оцениваются не менее чем в 50 млн долл., предполагается покрыть выручкой от продажи полученной научной информации правительственным агентствам и университетам.

Главное действующее лицо в этом проекте — Дж.Бенсон (J.Benson). Название миссии: Near Earth Asteroid Prospector (NEAP). Разработчики проекта —

группа профессоров и студентов Института CalSpace (Калифорнийский университет) и компания «AeroAstro».

Компания «SpaceDev» планирует в течение ближайших 10 лет осуществить еще более амбициозную миссию по доставке на Землю образцов внеземного вещества.

Aviation Week and Space Technology. 15 September 1997. P.94—95; Science. 19 September 1997. V.277. P.1756 (США).

Космические исследования. Планетология

Подо льдами юпитерианской Европы скрывается океан?

Межпланетный аппарат «Галилео» (НАСА США) продолжает совершать открытия, работая на орбите вокруг Юпитера и время от времени сближаясь с его крупнейшими спутниками. Детально исследовав вулканическую активность ближайшего к Юпитеру спутника — Ио, о которой планетологи знали еще по данным, переданным «Вояджерами», «Галилео» обнаружил теперь своеобразную активность второго спутника Юпитера — Европы.

До сих пор Европа считалась мертвым телом, поверхность которого покрыта ледяным панцирем. Однако на подробных изображениях поверхности Европы, переданных с «Галилео», на ледяном панцире видны многочисленные детали, указывающие на его молодость и высокую геологическую активность. Так, на нем очень мало метеоритных кратеров, что говорит о регулярном обновлении поверхности этого спутника. На изображении Евро-

пы заметен только один трехкилометровый кратер. В то же время вся поверхность Европы изрезана длинными, ветвящимися и пересекающимися бороздами, свидетельствующими о своеобразном «ледяном вулканизме» спутника.

Это открытие стало большой сенсацией и привлекло внимание как специалистов — планетологов и геологов, так и многих любознательных неспециалистов. Например, когда после одного из научных совещаний в Италии изображения Ио были показаны папе римскому Иоанну Павлу II, он смог произнести только: «Ух ты!» Это и понятно: сюрпризы природы возбуждают воображение всех культурных людей.

На изображениях Европы, переданных еще «Вояджерами», была заметна сеть линий на ледяном панцире. Однако их природа оставалась неясной. Качество изображений «Галилео» значительно выше: на них различимы в десятки раз более мелкие детали, размером до 36 м. Это позволило специалистам проанализировать структуру ледяных борозд. Их поперечное строение, напоминающее земные срединно-океанические хребты, с полной очевидностью говорит об излиянии жидкости на поверхность. А это значит, что подо льдом есть источник тепла и океан незамерзшей воды.

Проблема источника тепла уже нашла предварительное решение: приливное влияние гигантского Юпитера, регулярно «массирующего» недра спутника, — причина вполне достаточная для поддержания высокой температуры недр. У расположенного ближе к Юпитеру спутника Ио это вызывает чрезвычайно активный вул-

канизм, а на более удаленной Европе — мягкую водно-ледяную активность.

Помимо чисто геологического интереса обнаруженная на Европе активность недр имеет и биологический аспект: там, где есть вода и тепло, вполне возможна жизнь! Разумеется, дистанционные исследования не дадут прямого ответа на вопрос: «Есть ли жизнь под ледяным панцирем Европы?» А посадки автоматических станций на этот спутник пока не планируют. Но наблюдения с «Галилео», которые будут продолжаться в ближайшие годы, возможно, снабдят специалистов более полной информацией о строении поверхности спутника и ее составе.

Science. 1996. V.274. P.2015; 1997. V.275. P.478 (США).

Планетология

Наличие у Марса магнитного поля подтверждено учеными США

17 сентября 1997 г. Национальное агентство США по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) заявило о том, что магнитометр американского искусственного спутника Марса «Mars Global Surveyor orbiter» обнаружил магнитное поле этой планеты¹. В сообщении указывается, что направление магнитного поля на экваториальной поверхности Марса составляет не более 37,5 нТл, т.е. не превышает 1/800 магнитного поля на поверхности Земли.

¹ <http://www.jpl.nasa.gov/marsnews>.

Следует напомнить, однако, что об открытии магнитного поля Марса с российских спутников «Марс-2», «Марс-3» (1972), а также о подтверждении его величины и направления, полученном со спутников «Марс-5» (1974) и «Фобос-2» (1989), сообщалось сотрудниками Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН) еще в 1995 г. В статье утверждалось², что Марс обладает собственным полем, направление которого подобно земному (Северный магнитный полюс находится в Южном полушарии), а индукция на экваториальной поверхности составляет 28—31 нТл.

Руководитель магнитных измерений на американском спутнике М.Акуна (М.Асипа) считает, что «наблюдения, полученные ранее российскими спутниками «Марс-2,-3,-5 и Фобос-2», были неубедительны в отношении того, существует ли отсутствие марсианское поле внутренней природы». Верить или не верить нашим измерениям и аргументам — личное дело Акуны, но остается несомненным, что магнитное поле Марса впервые открыто российскими учеными в 1972 г. и подтверждено по величине и направлению последующими экспериментами.

Американские ученые провели измерения магнитного поля Марса с более низких высот над его поверхностью, чем позволяли сделать российские спутники. Поэтому они имеют возможность получить подробную карту магнитного поля Марса, и мы ожидаем

дальнейших сведений о его распределении на поверхности и в пространстве.

© Л.Н.Жузгов,
кандидат физико-математических наук
Москва

Химия атмосферы. Охрана окружающей среды

Самолет — враг озоносферы

Специалисты по химии атмосферы давно обеспокоены тем, что выбросы самолетов (не только высотных сверхскоростных типа «Конкорд», но и других) наносят существенный ущерб озоновому слою Земли.

Группа сотрудников во главе с Д.Фэем (D.Fahey; Национальное управление США по изучению океана и атмосферы, Боулдер, штат Колорадо) провела такой эксперимент. Вслед за пассажирским «Конкордом», совершавшим рейс в Новую Зеландию, был отправлен самолет-лаборатория, обнаруживший, что выбросы «Конкорда» содержат значительно большее количество серной кислоты (в форме мелкодисперсных аэрозолей), чем можно было ожидать.

На основе смоделированных Б.Керхером (B.Kercher; Мюнхенский университет, Германия) химических процессов, происходящих в атмосфере, удалось определить механизм образования столь большого количества взвешенных частиц. Авиационное горючее содержит в числе прочих веществ серу. До сих пор исследователи полагали, что большая часть этого загрязняющего агента, сгорая в двигателях, образует диоксид серы, доста-

точно медленно превращающийся в атмосфере в серную кислоту. Конденсируясь на взвешенных частицах, она уже мало влияет на атмосферные химические процессы.

Однако новые исследования показали, что самолеты (по крайней мере «Конкорд») выбрасывают триоксид серы (серный ангидрид), способный превращаться в серную кислоту намного быстрее. В случаях, когда в атмосфере недостаточно аэрозольных частиц для конденсации серной кислоты, из нее образуется устойчивый сернокислотный туман.

По мнению специалистов, если общее число сверхзвуковых самолетов типа «Конкорд» достигнет 500, площадь поверхности мельчайших частиц в стратосфере удвоится, что пагубно скажется на состоянии озоносферы. В особенности важно, что при дальних рейсах (для которых и предназначены сверхзвуковые самолеты) очень велика доля времени, проводимого ими в стратосфере.

Тревогу вызывают и обычные лайнеры, часто вторгающиеся в стратосферу при арктических рейсах. Нельзя исключить их вклад в развитие озоновых дыр, обнаруженных в 90-х годах над полярными районами Северного полушария. По мнению Фэя, следует больше внимания обратить роль самолетов в химических процессах тропосферы, где и проходят основные авиационные маршруты: очевидно, здесь аэрозоли могут способствовать глобальному потеплению.

Немецкие специалисты полагают, что наступила пора установить контроль за выбросами самолетных двигателей, и начать следует с производства горючего, со-

² Подробнее см.: Долгинов Ш.Ш., Жузгов Л.Н. Магнитное поле Марса: борьба идей // Природа. 1995. № 8. С.14—27.

державшего малое количество серы. Кроме того, необходимо создавать новые конструкции авиадвигателей, уменьшающих образование триоксида серы.

Geophysical Research Letters. 1997. V.24. P.389 (США).

Химия

Расхождения в названиях устранены

Названия вновь открытых химических элементов долго оставались предметом спора в научном сообществе.

В России для трансфермиевых элементов были приняты следующие названия и химические знаки: 101-й — менделевий (Md), 102-й — нобелий (Nb), 103-й — лоуренсий (Lr), 104-й — дубний¹ (Db), 105-й — жилиотий (Jl), 106-й — резерфордий (Rf), 107-й — борий (Bh), 108-й — ханий (Hn), 109-й — мейтнерий (Mt).

Международное общество чистой и прикладной химии (International Society for Pure and Applied Chemistry) после обсуждения спорных вопросов в Комитете по номенклатуре неорганических соединений, приняв во внимание приоритеты в открытиях элементов и предложения ученых различных стран, устранила в 1997 г. расхождения в названиях элементов. Отныне 104-й элемент будет называться резерфордием, 105-й — дубнием, 106-й — сиборгием² (Sg). Остальные назва-

ния остаются такими, какими приняты в России.

Pure and Applied Chemistry. 1997. V.69. P.2471—2473 (Великобритания).

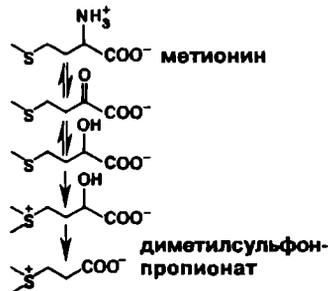
Биохимия

Диметилсульфонпропионат в морских водорослях

Главный предшественник биогенного атмосферного диметилсульфида (ДМС), который образуется за счет жизнедеятельности бактерий и морских водорослей, — это 3-диметилсульфонпропионат (ДМСП). (Отметим, что при расщеплении ДМС в атмосферу ежегодно попадает $1.5 \cdot 10^{13}$ г серы, что играет очень важную роль в кругообороте этого элемента, в процессах образования облаков, а в итоге — в регулировании климата Земли.)

Фитопланктон морей и макроводоросли накапливают ДМСП для повышения внутриклеточного осмотического давления, а также в качестве средства, придающего им морозостойкость, в частности в условиях повышенной солености воды и при недостатке азота. Хотя осуществляемый наземными растениями биосинтез ДМСП из метионина исследован подробно, о путях его образования в водорослях ничего не было известно.

Д.Гейдж (D.Gage; факультет биохимии Мичиганского университета, Ист-Лансинг, США) с группой специалистов исследовали биосинтез ДМСП в макроводоросли *Enteromorpha intestinalis*. Выращенная предварительно культура *E.intestinalis* была обогащена изотопами ¹⁸O, ¹³C и ³⁵S. Как показали количественные определения

**Образование диметилсульфонпропионата из метионина.**

изотопного состава метаболитов водоросли, проведенные *in vivo*, биосинтез ДМСП происходит по следующей схеме (см. рис.): сначала идет обратимое трансаминирование метионина; затем, тоже обратимое, восстановление и метилирование серы с образованием нового сульфонового соединения — 4-диметилсульфон-2-гидроксибутирата; завершается процесс его окислительным декарбоксилированием.

Обнаруженный механизм оказался общим для разных классов водорослей. В частности, были исследованы представители призмезофитов — *Eminiliana huxleyi*, диатомовых — *Melosirannumuloides*, празиофитов — *Tetraselmis sp.*

Образование ДМСП, инициированное трансаминированием, объясняет возрастание количества ДМСП в водорослях при дефиците азота в среде их обитания.

Nature. 26 June 1997. V.387. P.891—894 (Великобритания).

Биология

Для чего у рыб возникли челюсти?

520 млн лет назад, в конце кембрия, появились первые позвоночные. То

¹ См.: Арутюнян И.Н. Дубний и другие // Природа. 1995. № 2. С.118.

² См.: Свойства сиборгия, элемента 106 // Природа. 1997. № 12. С.74.

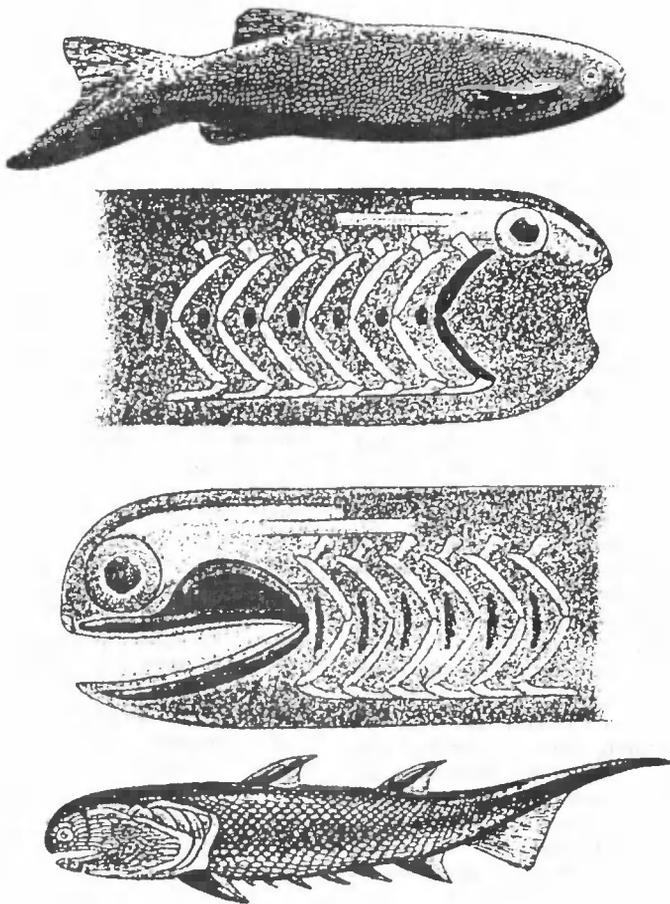


Схема превращения бесчелюстных рыб (два верхних рисунка) в челюстноротых (два нижних). Показаны общий вид и строение жабер. Обращает внимание, что у примитивных бесчелюстных нижняя лопасть хвостового плавника была длиннее верхней.

были маленькие бесчелюстные животные, подбирившие свою беспозвоночную добычу губами. Но уже через 60 млн лет, в ордовике, появились первые челюстноротые — примитивные рыбы. Это была революция и в анатомии, и в экологии. Челюсти дали возможность развиться крупным хищникам, а затем — выйти позвоночным из моря на сушу.

Природа придумала челюсти задолго до появления челюстноротых. И теперь челюсти имеются не у одних позвоночных — есть они и у некоторых червей, у брюхоногих моллюсков, у морских ежей, не говоря уж о попугайном клюве головоногих. Но для чего возникли челюсти у первых рыб? Казалось бы, ясно: разгрызть добычу. Общепринятый взгляд на этот процесс сформулировал в прошлом веке немецкий зоолог К.Гегенбаур. По его мнению, челюсти сформировались из первой жаберной дуги (жаберные дуги были уже у примитивных бесчелюстных). Первая жаберная дуга увеличилась и превратилась в захват, удерживающий бю-

щуюся добычу. Потом она окостенела, и на ней появились зубы.

Однако, по мнению Дж.Маллата (J.Mallatt; Университет штата Вашингтон, США), челюсти появились не для кусания, а для лучшего дыхания! Это уж потом они стали кусать, и непредвиденная новая функция сделалась главной. Маллат пришел к своему нетривиальному выводу, сравнивая ротовой и жаберный аппараты у миног (не имеющих челюстей) и акул¹. Он обнаружил значительное сходство в строении мускулатуры, в иннервации и кровоснабжении их щек и губ. Судя по отпечаткам, таково же было строение и у вымерших бесчелюстных. Значит, губы и щеки сформировались еще до появления челюстей. Но если у предков челюстноротых были большие щеки и губы, то их жаберные дуги должны были располагаться в глубине ротовой полости, слишком далеко от входа, чтобы участвовать в захвате добычи. Это так же неправдоподобно, как полагать, что наши горловые хрящи могут откусывать пищу. Конечно, последующая эволюция челюстей могла быть именно такой, как предполагал Гегенбаур, но их первоначальная функция была дыхательной.

Примитивные позвоночные дышали, засасывая воду в ротовую полость и с силой прокачивая через жабры. Первоначально челюсти возникли, считает Маллат, чтобы служить опорой для более мощных мышц, которые бы позволяли быстрее прокачивать воду через жабры, успеш-

¹ См.: Zimmer C. // Discover. 1996. V.17. № 3. P.34.

нее извлекать из нее кислород и, следовательно, наращивать скорость передвижения. Но при быстром смыкании рта есть риск, что часть воды будет бесполезно выбрасываться обратно через рот, а не пойдет в глубину ротовой полости, к жабрам. Чтобы этого не происходило, нужно крепче сжимать рот. Вот для этого-то первая жаберная дуга и увеличилась, а главное, передвинулась вперед, к ротовому отверстию.

Итак, сначала — более мощная ротовая мускулатура, для ее опоры — увеличенная и передвинувшаяся вперед первая пара жаберных дуг, быстрое замыкание рта и, как следствие, большая скорость плавания. А уже потом — захват и прочное удержание проточелюстями извивающейся добычи. Чем крупнее добыча, с которой удается справиться, тем выше энергетическая выгода от охоты и тем успешнее отбор на укрепление и усовершенствование челюстей, на развитие способов удержания добычи (зубы!) и методов охоты. Положительная обратная связь — необходимое условие быстрой эволюции по пути морфофизиологического прогресса. По мнению Маллата, свойственный многим современным рыбам (например, бычкам и удильщикам) захват добычи путем внезапного раскрытия рта с синхронным мгновенным «раздуванием щек», когда добыча просто-напросто всасывается в рот, а челюсти исполняют лишь роль «дверного запора», — напоминание о способе питания и одновременно дыхания отдаленных предков челюстноротых.

© К.Н.Несис,
доктор биологических наук
Москва

Зоология

Плотнее нет костей, чем у ремнезуба

В тропических водах Атлантического океана встречается редкий кит семейства кловорылых — ремнезуб (*Mesoplodon densirostris*). Он известен необычайно тяжелым черепом, его носовая кость, похожая на клюв, образует часть верхней челюсти — рыло.

Недавно зоологи П.Зюпос и Дж.Карри (P.Ziopoulos, J.Curry; Йоркский университет, Великобритания), всесторонне изучив черепа этого животного, хранящиеся в парижском Музее естественной истории, обнаружили, что кости головы ремнезуба — мировые «рекордсмены» по плотности: его клюв четверо плотнее считавшейся непревзойденной в этом отношении косточки, которая расположена около барабанной перепонки кита из семейства полосатиков — финвала (*Balaenoptera physalus*). Плотность носовой кости у ремнезуба составляет 2.7 г/см³, что примерно в полтора раза больше, чем средние значения для костей обычных млекопитающих.

Химический состав носовой кости тоже уникален. В ней содержится (по весу) 35% кальция — это на 13% больше, чем в любой известной кости. Микроскопический анализ показал: клюв ремнезуба изрешечен крошечными туннелями, которые образовались в результате «выведания» кости особыми клетками — остеокластами, после чего цилиндрические ходы плотно заполнялись другой костной тканью, более богатой минеральными веществами. В результате кость приобрела свойства керамики — хруп-

кость при высокой твердости. Если в ней появляется микротрещина, она распространяется уже почти беспрепятственно. Таким образом, вызывавшая удивление специалистов крайняя хрупкость клюва получила свое объяснение.

Назначение клюва у ремнезуба остается загадочным. Самые плотные клювы — у самцов, возможно, пользующихся ими для сражений с себе подобными. Однако при мало-мальски сильном ударе клюв должен растрескаться. Другая гипотеза предполагает, что это — своего рода орган связи, с помощью которого кит издает и отражает звуковые сигналы. Но форма клюва и для этого кажется не слишком подходящей. Карри не исключает, что клюв может фокусировать звуковую волну во время «переговоров», которые постоянно ведут между собой ремнезубы.

Journal of Zoology. 1997. V.241. P.725 (Великобритания).

Медицина

Талидомид — не мутаген?

Возможность появления врожденных уродств у младенцев, родители которых принимали талидомид (сходный по терапевтическому действию с пирамидоном), снова привлекла внимание специалистов.

П.Хуанг- и У.МакБрайд¹ на основе опытов с крысами, имеющими 12-дневную беременность, утверж-

¹ Huang P.H.T., McBride W.G. // Terat. Carcin. Mut. 1997. V.17. P.1—6.

дали, что талидомид — это первый ставший известным мутаген зародышевых клеток человека. Однако на ошибочность этих данных указала группа специалистов под руководством Дж.Эшби (J.Ashby; Центральная токсикологическая лаборатория Ценека, Великобритания). В опытах, проведенных ими *in vivo* и *in vitro*, широкий спектр тестов позволял определять цитогенетические изменения лимфоцитов человека, а также различных клеток кролика. Полученные результаты не оставляют у группы Эшби сомнений в том, что талидомид не является мутагеном. Данные Хуанга названы некорректными.

Nature. 11 September 1997. V.389. P.118 (Великобритания).

Медицина

Новое наступление кишечных микроорганизмов

Сотни миллионов людей в мире страдают от кишечных инфекций, связанных с потреблением недоброкачественной пищи. В развивающихся странах распространение целого ряда заболеваний обусловлено отсутствием надлежащих гигиенических мер, которые необходимо соблюдать при транспортировке и продаже продуктов, при обработке пищи и непосредственно во время ее употребления. С этими факторами связано распространение холеры, кампилобактериоза, сальмонеллеза, шигеллеза, бруцеллеза, гепатита А, болезней, вызванных патогенными штаммами *Escherichia coli*. Ежегодно от кишечных ин-

фекций в мире страдает 1.5 млрд детей в возрасте до пяти лет, из них почти 3 млн умирает.

Парадоксально, но факт: в индустриальных странах — с их развитой системой пастеризации и даже стерилизации продуктов, с высокой степенью личной гигиены — в последние годы увеличивается число желудочно-кишечных заболеваний; ежегодно ими страдают от 5 до 10% населения. Немалую роль в этом играет некачественная пища.

В США семь патогенных микроорганизмов (*Campylobacter jejuni*, *Clostridium perfringens*, *E.coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Toxoplasma gondii*) вызывают заболевания у 3.3—12.3 млн человек, из них 3.9 тыс. умирают.

Особую озабоченность вызывают штаммы сальмонеллы, устойчивые к антибиотикам, и штамм *E.coli* 0157:H7. В Шотландии в 1996 г. было зарегистрировано 396, а в Японии — 9578 случаев заболеваний, связанных с этим штаммом, а ведь совсем недавно он считался условно патогенным. В Германии, например, зарегистрировано 1000 случаев сальмонеллеза, причина которого — «невинные» картофельные чипсы, содержащие перец как пряную добавку.

Всемирная организация здравоохранения обращает внимание, что желудочно-кишечных болезней может в действительности быть в 300—350 раз больше зарегистрированного числа. В Египте, например, штаммом *E.coli* в 1994 г. оказались заражены непастеризованное молоко, говядина, баранина и курятина. Директор Программы ВОЗ по обеспечению продовольствием и

безопасности пищи Ф.Каферштейн (F.Kaferstein) предлагает повысить ответственность производителей и потребителей пищи за отсутствие мер борьбы с инфекциями, вызванными продуктами питания.

Press Release World Health Organization. № 58. 13 August 1997 (Швейцария).

Демография. Медицина

«Демоническое пьянство»

Основные причины беспрецедентного для цивилизованных стран падения продолжительности жизни в России проанализировала группа демографов (Д.А.Леон и др.) по данным Национального института демографических исследований (Париж,) и Центра демографии и экологии человека (Москва).

Некоторый рост продолжительности жизни в СССР приходился на годы антиалкогольной кампании 1984—1986 гг. Увеличение мужской смертности, наблюдающееся с 1986 г., коррелирует со снижением цен на спиртное и увеличением объема его продажи. При этом почти не повысился уровень смертности от раковых заболеваний. Косвенно это связано именно со снижением продолжительности жизни, вызванным смертностью как от самого алкоголизма, так и от болезней, ему сопутствующих, и связанных с ним несчастных случаев.

Обсуждая материалы группы демографов, Т.Линкольн (Т.Lincoln) назвал состояние потребления алко-

голя в России «демоническим пьянством».

Медики мира подчеркивают: самое решающее значение для здоровья и долгожительства населения имеют не последние дорогостоящие достижения современной медицины, малодоступные широкому кругу пациентов, а переход к здоровому образу жизни. В России именно этот фактор, по мнению специалистов-демографов, является определяющим.

Lancet. 1997. V.350. P.383—388; Nature. 21 August 1997. V.388. P.723 (Великобритания).

Психология

Какую профессию выбирает английская женщина?

По статистике, среди выпускников университетов Великобритании 1995 г. женщины составляли 51%, что примерно соответствует относительной их численности в населении страны. Однако распределение полов по научно-профессиональным интересам оказывается совершенно несбалансированным.

Анкетирование сотен британских старшеклассников, их родителей и педагогов показало: в каждой из этих групп около половины считают любую научную отрасль равно подходящей для мужчины и женщины, но на практике девочки часто действуют более традиционным образом. Они доминируют среди тех, кто готовится стать школьными учителями в младших классах (95%), специалистами в областях психологии (75%), социологии (73%), филологии и иностранных языков (70%). На противоположном

конце спектра находятся такие отрасли, как строительство (лишь 11%), инженерное дело и техника (12%), компьютерные науки (17%), физика (19%).

Нередко встречаются утверждения, что «мужскими» являются все профессии в категории «инженерное дело и техника», но это не так. Например, среди принятых на подготовительные курсы по специальностям химия полимеров или текстильная промышленность женщины составляют 81%, по радиографии — до 79%. Даже в такой «чисто мужской» профессии, как металлург, английские женщины готовы составить 25%-й отряд. В то же время в области наук о питании хотели бы стать специалистами 88% женщин, а в биотехнологии — около 32%.

Если между началом 80-х годов и 1990 г. шел резкий рост женского участия в точных науках и технике, то за последние годы показатели менялись весьма незначительно. Даже в испытывающей общий подъем компьютерной науке и технике вот уже несколько лет «слабый пол» составляет 20%.

Среди причин такого положения нередко указывают на отношение к инженерному делу как к «физически тяжелому, грубому и грязному». Однако и в электронной инженерии, которая «чиста, как больница», число женщин едва достигает 8%, тогда как в гражданском строительстве (действительно «грязном и грубом!») их до 14%.

Другая предполагаемая причина — в том, что инженерное дело требует хорошего знания математики, которая девочкам якобы дается хуже. Но среди выпускников школ математи-

ческий факультатив выбирают в Англии 40% девочек (эта дисциплина почти одинаково непопулярна среди обоих полов). Можно сделать вывод, что вся проблема состоит в традиционном подходе к предмету — «что женственно, а что нет».

New Scientist. 1997. V.153. № 2068. P.48 (Великобритания).

Экология

Реинтродукция бобра

Когда-то весьма широко распространенные в Европе бобры теперь встречаются лишь в отдельных местностях Германии, России и Скандинавских стран. На территории же Нидерландов последнего бобра видели в 1826 г. Но в 1988 г. специалисты Нидерландского управления сельскохозяйственных исследований приступили к его реинтродукции в двух национальных парках страны.

Из южных районов Германии было завезено и выпущено на волю 58 особей. Однако анализ результатов этого мероприятия говорит лишь о частичном его успехе. Дело в том, что бобры первой партии заняли неожиданно большую территорию, почти не оставив места для расселения новых партий бобров. Если обычно территория, занимаемая бобром, составляет примерно 1,5 км протяженности реки, то на сей раз «первопоселенцы» захватывали намного больше — до 50 км вниз и вверх по течению. По наблюдениям зоолога Б.Николе (B.Nicolet; Нидерландский экологический институт, Нюверслус), для обхода столь большого участка животному приходилось плавать чуть ли не все

время, вплоть до истощения.

Привезенные в последние годы бобры бродили месяцами в надежде найти участок, не помеченный пахучей бобровой струей. Это приводило к стрессу; в течение первого года такие бобры умирали от болезней впятеро чаще, чем «первопоселенцы».

Экологи пришли к заключению, что для более удачной интродукции бобры в дальнейшем должны завозиться не партиями, а сразу большой группой: тогда они сами поделят территорию согласно собственным потребностям и возможностям. Этот опыт собираются учесть экологи Германии, которые намерены переселить бобров из Баварии в некоторые районы Хорватии.

New Scientist. 1997. V.154. № 2079. P.6 (Великобритания).

Экология

Акация защищает опылителей от собственных «телохранителей»

Взаимоотношения некоторых тропических видов акаций и постоянно живущих на них крупных муравьев (например, *Crematogaster*) представляют собой классический случай симбиоза, описанный во многих учебниках экологии. Муравьи надежно защищают акацию от нападающих на нее животных-фитофагов (как беспозвоночных, так и мелких позвоночных), а также объедают побеги многих других растений, которые в процессе роста соприкасаются с ветвями и листьями акации. В свою очередь акация предоставляет муравьям для

устройства гнезд специально видоизмененные шипы и, кроме того, на своих листьях образует богатые белком тельца, которые муравьи охотно поедают.

Все было бы хорошо, но чрезмерные усилия муравьев-«телохранителей» создают для растения некоторые проблемы. В частности, жертвами муравьев могут стать насекомые-опылители. Недавние исследования двух ученых из Великобритании — П.Уилмера из Университета Св.Эндрю и Дж.Стоуна из Оксфорда — позволяют понять, каким образом разрешается эта дилемма¹.

Наблюдения за муравьями, живущими на двух видах африканских акаций (*Acacia zanzibarica* и *Acacia drepanolobium*), показали, что муравьи, часто встречаясь утром на еще не распустившихся цветках и около них, стараются избегать их в середине дня, когда цветки полностью раскрыты и интенсивно опыляются (главным образом одиночными пчелами из семейств *Megachilidae* и *Halictidae*). Во второй половине дня муравьи снова начинают патрулировать цветки, которые к этому времени уже «стареют» и почти не посещаются опылителями. Авторы пришли к выводу, что на молодых раскрывшихся цветках присутствует какое-то вещество (возможно, оно находится на поверхности пыльцы), служащее для муравьев специфическим репеллентом. С пыльцой его можно перенести на другие цветки (например, стареющие), и тогда их тоже начинают избегать муравьи. На увядающих цветках и формирующихся плодах муравьи появ-

ляются снова, причем от их числа зависит успех плодотворения: количество семян, образовавшихся в соцветии, положительно коррелирует с числом муравьев, патрулировавших побеги с цветочными.

© А.М.Гиляров,

доктор биологических наук
Москва

Охрана природы

Судьба ламантина

1996 год был рекордным по численности популяции ламантинов (*Trichechus manatus*), обитающих у атлантических берегов штата Флорида: их поголовье впервые с начала наблюдений достигло 2600 особей. Однако и количество обнаруженных трупов (415), как показали подсчеты сотрудников отдела биологических ресурсов при Геологической службе США (Форт-Коллинз, штат Колорадо) во главе с зоологом Т.Дж.О'Ши (Т.Дж.О'Ши), превысило показатели любого из предыдущих годов; причем из числа погибших 150 отравились ядами, которые выделяются при цветении морских водорослей («красном приливе»), происходящем обычно весной.

В 1997 г. зима была мягкой: к весне погибших оказалось немного, в связи с чем биологи ожидали заметный рост популяции. Однако, по данным авиаразведки, произведенной в конце марта, их численность снизилась до 2229 особей. Сложность наблюдений и подсчета этих робких животных заставляет биологов моря прибегать к компьютерному моделированию с целью определить динамику популяций.

¹ Willmer P.G., Stone G.N. // Nature. 1997. V.388. P.165—167.

Недавно построенная О'Ши в сотрудничестве с М.Мармонтель и С.Р.Хамфри (M.Marmontel, S.R.Humphrey; Университет штата Флорида, Гейнсвилл) модель впервые позволяет прогнозировать развитие стада на сравнительно долгий период. Если уровень рождаемости, смертности и другие параметры останутся без изменений, то, по результатам моделирования, популяция должна сохранить стабильность в течение 1000 лет. Если же смертность, составляющая сейчас в среднем 150 особей в год, повысится всего на 10%, что равносильно гибели еще одного-двух животных, весь вид в водах, омывающих Северную Америку, постепенно исчезнет.

В основу модели были положены данные за 1976—1991 гг. Они включают сведения о возрасте, поле, репродуктивном состоянии 1200 обнаруженных за это время трупов ламантинов. Были учтены также трудно предсказуемые явления, как ураганы и «красные приливы». К существенным факторам смертности этих животных относится также столкновение с судами, чьи гребные винты нередко наносят им смертельные раны. Биологи обратились к местным властям с просьбой ввести ограничения скорости движения судов в акваториях, где встречаются эти животные.

Conservation Biology. April 1997; Science News. 1997. V.151. № 13. P.191 (США).

Охрана природы

Кампания по спасению медведей в Пакистане

Всемирное общество защиты животных (The World Society for the Protection of

Animals — WSPA) заявило, что располагает неопровержимыми доказательствами возрождения в Пакистане своеобразного вида «спортивных зрелищ» — натравливания собак на медведя, которого держат на привязи. Пару злобных бойцовых собак выпускают на медведя, и зрители с азартом наблюдают за кровавой схваткой. У медведя почти не остается возможности выжить, поскольку перед боем ему удаляют когти и клыки, а организаторы зрелища предпринимают всевозможные усилия, чтобы продержать разъяренного зверя на «ринге» целых шесть раундов, каждый из которых длится несколько минут.

По данным WSPA, в Пакистане ежегодно проводится от 80 до 100 таких «боев», и в них занято около десяти медведей.

Возрождение этих диких зрелищ ведется вопреки закону, принятому еще в 1890 г., а также положениям ислама. WSPA призывает Пакистан к соблюдению существующих законов, предлагает изъять изувеченных медведей, провести перепись обитающих в естественной среде, активность же организаторов подобных зрелищ направить в другое русло. Ряд видных деятелей Пакистана обещали свою поддержку в проведении кампании по спасению медведей.

The Royal Geographical Society Magazine. June 1997. V.LXIX. № 6. P.7 (Великобритания).

Охрана природы

Трибутилолово губит дельфинов?

За последнее десятилетие отмечено множество случаев массовой гибели дель-

финов, населяющих Атлантику, Мексиканский залив, Средиземное море. Иной раз почти одновременно умирали сотни животных.

Группа ученых во главе с К.Каннаном (К.Каппан; Университет штата Мичиган, Ист-Лансинг, США) провела исследование, в ходе которого брались на анализ ткани погибших у побережья Флориды бутылконосов (*Hyperoodon rostratus*). Оказалось, что почти у всех этих животных концентрация продуктов распада трибутилола, особенно в печени, заметно выше, чем у тех, кто погиб, запутавшись в сетях, или умер в неволе. Замечено также, что ткани печени у представителей двух других видов — карликовых кашалотов (*Kogia breviceps*) и атлантических пятнистых продельфинов (*Stenella pernettyi*), живущих вдали от берегов, содержат в три-четыре раза меньше таких веществ, чем у бутылконосов.

Авторы исследования причину видят в том, что для борьбы с обрастанием судовых корпусов (снижающим ходовую скорость) применяются краски, содержащие трибутилолово. Правда, в конце 80-х годов, когда выяснилось, что такие краски вредно воздействуют на организм моллюсков, в ряде стран, включая США, они были запрещены, но запрет не стал всеобщим. Тем не менее отмечено, что содержание трибутилола ниже в теле тех дельфинов, которые погибли уже после 1994 г. по сравнению с умершими ранее. Однако, поскольку это вещество концентрируется в донных осадках, оно может продолжать подпитывать водную среду.

Есть свидетельства, что трибутилолово снижает сопротивляемость организма

различным болезнетворным бактериям и вирусам.

Environmental Science and Technology. January 1997; Science News. 1997. V.151. № 6. P.92 (США).

Охрана окружающей среды

Тайваньские атомные отходы

Согласно контракту, заключенному властями Тайваня с правительством КНДР, с острова будет доставлено в Северную Корею около 200 тыс. баррелей (1 баррель равен примерно 160 л) отходов атомной энергетики, обладающих низкой радиоактивностью. Северная Корея получит за это более 250 млн долларов, что весьма существенно для коммунистической страны, чья экономика находится в полном упадке.

Однако подобная сделка вызывает решительные протесты со стороны правительства и общественности Корейской Республики (Южная Корея) в связи с отсутствием в КНДР хранилищ для этих опасных отходов. Кроме того, весьма маловероятно, что власти КНДР позволят производить международную инспекцию места складирования этих материалов (по всей вероятности, это будет одна из заброшенных шахт).

Тайвань, со своей стороны, заверяет, что отходы будут совершенно безопасными, так как речь идет лишь о таких предметах, как... рукавицы и инструменты, использованные при работе с атомными материалами, к тому же они упакованы в стальные бочки, отвечающие международным стандартам.

Руководство Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) заявило, что ему известно о беспокойстве, проявляемом в ряде стран в связи с этой сделкой, однако права вмешаться оно не имеет, так как ни Тайвань, ни КНДР членами МАГАТЭ не являются.

New Scientist. 1997. V. 153. № 2069. P.12 (Великобритания).

Охрана природы

Атолл Мидуэй становится заказником

Расположенный на крайнем северо-западе Гавайского архипелага атолл Мидуэй впервые со времен второй мировой войны (когда на нем находилась крупная база ВМФ США) станет открытым для туристов. После очистки территории бывшей военной базы Служба рыбных ресурсов и диких животных США (US Fish and Wildlife Service) включит Мидуэй, имеющий площадь 5.2 км², в комплекс заказника, куда входит множество очень мелких островов, прилегающих к атоллу. В итоге общая площадь охраняемой территории составит почти 20 км².

Острова славятся богатой орнитофауной. По содействию с бывшими офицерами общезнаниями, в которых предполагается размещать посетителей заказника, гнездится крупнейшая в мире колония темноспинных альбатросов (*Diomedea immutabilis*) (ее численность оценивается в 430 тыс. гнездящихся пар). Кроме них на атолле живет 15 других видов морских птиц,

включая черноногого альбатроса (*Diomedea nigripes*), фрегатов, буревестников, олушей и фазанов. В водах архипелага обитают зеленые (суповые) черепахи, скаты, дельфины, встречается гавайский тюлень-монах.

Служба рыбных ресурсов и диких животных предпринимает меры для восстановления экосистемы атолла, подвергавшейся в течение нескольких десятилетий сильному антропогенному воздействию. Служба договаривается с корпорацией «Мидуэй Феникс» об ограничении числа туристических экскурсий. Общество океанских экспедиций (Oceanic Society Expeditions) разработало туры по изучению естественной истории атолла Мидуэй и по участию в исследовательских и реставрационных проектах.

Wildlife conservation. March-April 1997. V.10. № 2. P.16 (США).

Геофизика

Спреди́нг «услышан»

В 1993 г. ВМФ США предоставил гражданским научным учреждениям доступ к ранее засекреченной сети подводных микрофонов, первоначально установленных для слежения за иностранными подлодками. С тех пор сейсмологи, океанологи и специалисты по геодинамике используют эту сеть в исследовательских целях.

28 февраля 1996 г. группа специалистов, возглавляемых Э.Бейкером (E.Baker; Национальное управление США по изучению

океана и атмосферы, Сиэтл, штат Вашингтон) и У.У.Чедвиком (W.W.Chadwick; Университет штата Орегон, Ньюпорт) зафиксировали необычный акустический сигнал, исходивший со дна Тихого океана. Дальнейшие наблюдения показали, что звуки возбуждаются вулканическим извержением в пределах подводного хребта Горда, к западу от северо-запада США.

Через 10 суток на место прибыло научно-исследовательское судно с аппаратурой для геофизических исследований. Экспедиция установила, что извержение подводного вулкана связано со спредингом — растяжением земной коры. Это — первый случай непосредственного наблюдения за подобным эпизодом активного спрединга.

Участники работ обнаружили также, что над этой частью хребта возникло большое «озеро» разогретых вод. В рейсе, состоявшемся в апреле 1997 г., к вершинам хребта Горда, на глубину 3100 м под поверхность океана, была опущена кинокамера с дистанционным управлением. Она засняла потоки свежей лавы, излившейся, вероятно, не более месяца назад. Видимо, с ними и связан разогрев окружающих вод.

В соответствии с теорией плитовой тектоники, хребет Горда возник в результате взаимодействия двух соседствующих плит. В районе их дивергенции возникает разлом, который и позволяет лаве выходить на поверхность. Наблюдения такого процесса затрудняются тем, что он происходит на больших глубинах океана и активные эпизоды возникают неожиданно. Лишь наличие акустической сети, записавшей на сей раз связанные с этим зву-

ковые сигналы, способствовало успеху геофизиков.

Science News. 1997. V.151. № 1. P.15 (США).

Сейсмология

Сейсмически «невидимый» сдвиг в Японском желобе

Геодезическая съемка поверхности земного шара из космоса показала, что скорости смещения литосферных плит за последнее десятилетие находятся в соответствии с моделью, основанной на усреднении данных за прошедшие несколько миллионов лет. Однако происходящие в глубоководных желобах смещения, которые сопровождают межплитовые землетрясения надвигового типа, оказываются меньше, чем можно было бы предположить, исходя из скоростей конвергенции соответствующих плит. Например, сейсмические сдвиги при современных и исторических землетрясениях в Японском желобе объясняют лишь 50% усредненной по времени скорости субдукции Тихоокеанской плиты.

Сейсмологические методы оценки таких смещений ныне могут быть дополнены и уточнены по данным глобальной системы позиционирования (Global Positioning System — GPS). В Японии в октябре 1994 г. объединенными усилиями сотрудников трех учреждений (Национальной астрономической обсерватории, Ивате; Института географических исследований, Ибараки; Министерства строительства, Токио) была установлена непрерывно дей-

ствующая сеть GPS, включающая около 200 приборов, которые покрыли практически всю территорию страны.

28 декабря 1994 г. в Японском желобе произошло типичное межплитовое надвиговое землетрясение с магнитудой 7.6 по шкале Рихтера. Глубина гипоцентра была очень мала, а область афтершоков составила около (150×70) км² и в целом погружалась на запад, вдоль границы между пододвигаемой и нависающей плитами. Анализ механизма землетрясения в его очаге указывает на то, что основной сдвиг произошел в центральной части афтершоковой области, что согласуется как с результатами инверсии волнового фронта цунами, вызванного этим событием, так и с данными о смещениях в очаговой зоне, полученными национальной сетью GPS. Для анализа коровых движений, сопровождавших это событие, были использованы показания 16 приборов, расположенных на северо-востоке о.Хонсю и юге о.Хоккайдо, за период с октября 1994 по декабрь 1995 г. В пунктах размещения GPS были измерены постсейсмические смещения в течение первого года после землетрясения и оценен суммарный сдвиг по разлому.

Оказалось, что величина сейсмического момента, высвобожденного на постсейсмической стадии развития сдвига, сравнима с амплитудой движения, реализуемого на высокоскоростной сейсмической стадии вспарывания разлома. В октябре 1994 г. в 400 км к северо-востоку от декабрьского события произошло землетрясение, гипоцентр которого располагался внутри пододвигаемой плиты. В этом случае пост-

сейсмический сдвиг был пренебрежимо мал, несмотря на большие движения на сейсмической стадии вспарывания. Это означает, что значительный последующий сдвиг характерен для землетрясений межплитового типа и может быть связан, например, с присутствием неконсолидированных осадков в разломной зоне. Наличие сейсмически «невидимой» составляющей сдвига при межплитовых надвиговых землетрясениях объясняет, почему сейсмический сдвиг оказывается меньше ожидаемого на основе усредненных по времени скоростей литосферных плит.

Очевидно, что геодезические измерения коровых деформаций (особенно с помощью достаточно долговременной и плотной сети GPS) крайне важны как для понимания развития процессов в очагах межплитовых надвиговых землетрясений во времени, так и для более точной оценки сейсмической опасности в зонах субдукции.

Nature. 10 April 1997. V.386. P.595—598 (Великобритания).

Гидрология. Гляциология

Гидрологам и гляциологам помогут космические лучи

Водоснабжение Калифорнии с ее высоко развитым сельским хозяйством и промышленностью в огромной мере зависит от того количества влаги, какое скопилось за зимний период в ледниках и снежниках Сьерра-Невады. Отсюда — необходимость ежегодно определять состояние снежного покрова (влагозапас) в труднодоступной горной местности. До сих пор это

обычно делалось с помощью так называемых «снежных подушек» — заполненных антифризом пластичных мешков длиной до 2 м, размещаемых на снегу. Под давлением все новых слоев снега мешки деформируются, что позволяет «взвешивать» поступившую в снег влагу. Однако емкости громоздки (их приходится доставлять в горы на выючных мулах), к тому же их нередко повреждают дикие животные.

Принципиально новый метод предложил инженер-электрик К.Кондрев (K.Congrev; Сандийская национальная лаборатория, Ливермор, Калифорния). Совместно с гидрологом Ф.Герке (F.Gehrke) он разработал компактное (умещающееся в рюкзаке) оборудование, учитывающее поглощение потока космического излучения водой. Прибор содержит два небольших датчика: один устанавливается на самой поверхности земли, а другой — на 10 м выше. Заряженные частицы космических лучей генерируют в датчике световую вспышку, которую регистрирует фотодиод и затем анализирует компьютер.

Во время снегопада наземный датчик покрывается снежинками, и влага, содержащаяся в них, начинает блокировать поток космических лучей, а излучение, фиксируемое верхним датчиком, остается неизменным. Разница между показаниями того и другого позволяет определить содержание воды в снеге, лежащем на поверхности земли.

Дальнейшее усовершенствование прибора позволило телеметрически, с использованием искусственного спутника, передавать показания датчиков на вычислительную машину Цент-

ра снегосъемки штата Калифорния.

Портативное оборудование во избежание повреждений животными может быть закопано под поверхностью почвы. Практическое использование в обычных полевых условиях подтвердило его полную пригодность.

New Scientist. 1997. V.153. № 2073. P.23 (Великобритания).

Климатология

Самое жаркое десятилетие

Метеослужба Великобритании в Брекнелле совместно с Университетом Восточной Англии в Норидже опубликовали отчет о состоянии погоды за 1996 г. в глобальных масштабах. Хотя многим жителям Восточной Европы и США этот год запомнился снежной зимой и прохладным летом, его можно считать одним из наиболее теплых за все время надежных наблюдений, начатых в 1860 г.

По средним температурам 1996 г. следует за рекордно теплыми 1995, 1991 и 1990-м. Таким образом, 90-е годы относятся к самому жаркому десятилетию более чем за целый век. Средняя температура на планете в 1996 г. была на 0.21°C выше средней за период между 1961 и 1990 гг., лишь в 1995 г. превышение достигало 0.4°C. Итак, 1996-й — один из десяти самых жарких годов с 1860 г. Такие выводы сделаны на основании данных, полученных более чем от 1 тыс. наземных метеостанций и от такого же числа судов и морских метеобуев.

При параллельном изу-

чении данной проблемы коллективом Института космических исследований им. Годдарда НАСА США сделан вывод, согласно которому 1996 г. входит в число пяти самых теплых, начиная с 1866 г. — первого, по которому у них есть соответствующие данные. Сотрудники НАСА опираются при этом на информацию приблизительно 2 тыс. наземных метеостанций и на спутниковые данные о температуре поверхности Мирового океана. По их расчетам, глобальная температура 1996 г. была на 0.32°C выше, чем средняя за отрезок времени между 1951 и 1980 гг.

Несколько иная картина климата возникает при рассмотрении спутниковых данных, отражающих состояние среды между земной поверхностью и атмосферой на высоте 7 тыс. км. По спутниковым данным, 1996 г. стоит за последние 18 лет на восьмом месте среди самых холодных годов. Расхождение между наземными и атмосферными наблюдениями затрудняет интерпретацию общей тенденции климата на планете. Согласно британским данным, земная поверхность разогревается в среднем на 0.17°C за десятилетие; спутниковые же измерения свидетельствуют об охлаждении атмосферы на 0.03—0.04°C за те же 10 лет (1982—1991).

По мнению Дж.Херрелла (J.Hurrell; Национальный центр атмосферных исследований США, Боулдер, штат Колорадо), результаты спутниковых измерений, охватывающих весьма мощный слой воздушной оболочки планеты, не обязательно должны совпадать с наблюдаемыми на поверхности Земли, так что тенденции за короткий период с 1979 г.

могут здесь и там быть совершенно различными. Другое дело — в масштабах длительного времени.

Районом «согласия» между спутниковыми и наземными данными в 1996 г. служит центральная экваториальная область Тихого океана. Здесь явление Ланинья — контраналог Эль-Ниньо — послужило причиной значительного похолодания огромных водных масс.

Холодная погода преобладала в 1996 г. в центральной и восточной частях США, Северной Европе, отдельных районах Канады и России. На большей части остальной планеты, включая Гренландию, отмечалось потепление. Это состояние — обратное тому, что наблюдалось на Земле с 1980 г.

Компьютерные климатологические модели показывают, что по мере накопления в атмосфере загрязняющих веществ, удерживающих тепловое излучение Земли, ее поверхность должна разогреваться. Однако существуют природные причины, заставляющие этот процесс идти не равномерно, а с колебаниями, и тогда тот или иной конкретный год может оказаться холодным. По мнению большинства специалистов, к 2010 г. средние температуры на Земле поднимутся на 1.0—3.5°C.

Science News. 1997. V.151. № 3. P.38 (США).

Климатология

Метеоспутники обманывали климатологов?

По данным приборов различных метеорологических

спутников, нижние слои атмосферы Земли в период с 1979 по 1997 г. охлаждались на сотые доли градуса за десятилетие. В то же время наземные метеостанции показывали повышение температуры на 0.15±0.02°C в десятилетие¹, начиная с того же 1979 г.

Дж.Херрелл и К.Тренберт (J.Hurrell, K.Trenberth; Национальный центр атмосферных исследований США, Боулдер, штат Колорадо), пытаясь найти причину расхождения между данными, получаемыми двумя методами наблюдений, построили математическую модель, позволяющую «отфильтровать» влияние изменений поверхностной температуры Земли на состояние атмосферы.

В ходе анализа обнаружилось, что спутниковые данные резко изменялись дважды: в середине 1981 г. и в середине 1991 г., и оба раза это совпадало со сменой одного спутника другим, только что выведенным на орбиту. Авторы высказали предположение, что метеоприборы на спутниках были предварительно калиброваны по-разному. Если устранить эти калибровочные ошибки, спутниковые данные тоже начинают свидетельствовать о незначительном повышении температуры в глобальных масштабах.

Против этих утверждений выступили Дж.Кристи, Р.Спенсер и У.Брэгвелл (J.Christy, R.W.Spencer, W.D.Bragwell; Университет штата Алабама, Хантсвилл, США). Они указывают, что данные приборов, поднимаемых на шарах-зондах, подтверждают скорее спутнико-

¹ О ходе среднегодовых температур земной поверхности см.: Природа. 1995. № 5. С.21.

вую информацию, чем наземную. Дискуссия продолжается.

Nature. 25 September 1997. V.389. № 6649. P.342 (Великобритания).

Палеогеография. Генетика

Молекулярная генетика о времени заселения Америки

Дискуссия о том, когда человек заселил Америку, длится уже многие десятилетия. Палеогеография и антропология поставили эту проблему в определенные рамки¹. Неандертальцев в Америке никогда не было, значит, Америка не могла быть заселена раньше чем 50—100 тыс. лет назад. Поскольку Берингов пролив открылся приблизительно 11 тыс. лет назад², значит, человек появился в Америке до того времени (как трудно пересечь пролив по льду даже сейчас, известно по экспедициям Шпаро). Ее первопоселенцами стали сухопутные охотники на крупного зверя. В самый разгар ледникового периода Кордильерский ледниковый щит на западе спускался в океан на громадном пространстве от Южной Аляски до штата Вашингтон, а на востоке он сливался в долине р.Маккензи с Лаврентийским ледниковым щитом, занимавшим всю северо-восточную часть Америки, и полностью перекрывал путь от неоледеневавших районов Чукотки, Берингии и

Аляски на территорию современных США.

Остаются две возможности: человек мог заселить Америку либо в период небольшого потепления в середине вюрмского периода (30—40 тыс. лет назад, когда Берингова пролива не существовало, но долина Маккензи была свободна от льдов), либо в самом конце оледенения (14 — 11 тыс. лет назад, когда Кордильерский и Лаврентийский щиты уже разъединились, но Берингов пролив еще не открылся). Имеются доказательства того, что люди жили на территории современной Бразилии уже 32 тыс. лет назад³. Однако очень многие американские антропологи подвергают сомнению все датировки, предвещающие конец последнего оледенения, и утверждают, что люди проникли на территорию США не ранее 11 500 лет назад.

Проблема затрудняется отсутствием надежных данных о том, сколько было волн переселения. Языки аборигенов Америки делятся на три обособленные группы (семьи): америндскую (большинства американских индейцев), на-дене (некоторых индейских племен южной Аляски и западной Канады) и эскимосскую (эскимосов Аляски, Канады и Гренландии и алеутов). На этом основании лингвисты утверждают, что было три волны переселения, причем палеоиндейцы пересекли Берингию намного раньше других народов, с первой волной мигрантов центральноазиатского (Алтай — Монголия) происхождения. Языки на-дене и эскимосов разделились, возможно, где-то в Берингии в

конце последнего оледенения. Первые молекулярно-генетические данные позволили говорить даже о четырех миграционных волнах.

Ответить на все эти вопросы попытались бразильские генетики С.Бонатту и Ф.Салзану из Федерального университета Риу-Гранди-ду-Сул в Порту-Алегри⁴. Они изучили все имеющиеся (опубликованные и новые) данные о последовательностях нуклеотидов в первом гиперизменчивом сегменте (HVS-I) участка митохондриальной ДНК человека, включающем около 360 пар оснований. Было выявлено свыше 1000 различных последовательностей, полученных более чем от 2500 человек, представляющих разные народы Северной, Центральной и Южной Америки (от эскимосов до индейцев Аргентины), Чукотки, Гренландии, Центральной и Восточной Азии, а для сравнения — от негров (пигмеи мбути и йоруба) и европейцев.

Построенные дендрограммы сходства показали, что ближе всего друг к другу стоят народы языковой семьи эскимосов и на-дене, чуть дальше от них — чукчи и американские индейцы, еще дальше — народы Сибири, Монголии и Восточной Азии, потом — европейцы, а самые отдаленные — африканцы.

Исходя из предположения, что геном изменяется на 10—15% за миллион лет, было оценено время расхождения ветвей. Оказалось, что все народы Америки (америнды, на-дене и эскимосы), а также чукчи произошли от одной волны переселенцев, пришедших, видимо, откуда-то с востока

¹ Несис К.Н. Когда человек заселил Америку // Природа. 1988. № 2. С.120—121.

² Несис К.Н. По тундре... из Азии в Америку // Природа. 1997. № 7. С.121—122.

³ Прародина первых американцев // Природа. 1997. № 3. С.122—123.

⁴ Bonatto S.L., Salzano F.M. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1997. V.94. № 5. P.1866—1871.

Центральной Азии. Эта волна мигрантов ушла из Азии приблизительно 50—90 тыс. лет назад, но в Америку проникла через Берингию 22—55 (вероятнее 30—43) тыс. лет назад, что совпадает с оценкой по палеогеографическим данным: 32—40 тыс. лет. Значит, Берингия была не просто мостом или коридором для миграции людей из Азии в Америку, а играла в этом процессе ключевую роль: именно там начали формироваться и дифференцироваться три языковые семьи современной Америки. Поэтому бразильские ученые делают вывод: Америка была заселена из Берингии, а не из Азии. Приблизительно 18—20 тыс. лет назад наступление ледника прервало связь между ушедшими далеко на юг потомками первой волны переселенцев и людьми, оставшимися в Берингии, но разрыв длился не более 6000 лет, а по некоторым данным — только 2000 лет. Этот разрыв объясняет то обстоятельство, что по генетическим данным эскимосы, на-дене и чукчи немного ближе друг к другу, чем к американским индейцам, хотя все вместе они сохраняют гораздо большую близость друг к другу, чем к народам Сибири и Центральной Азии. После таяния ледников на-дене расселились на юг, эскимосы — на восток, а чукчи так и остались на своей родине, к западу от Берингова пролива.

Таким образом, люди живут в Америке раза в три дольше, чем считалось. У них было достаточно времени, чтобы увеличить свою численность на три порядка, заселить весь гигантский материк от Аляски до Огненной Земли и приспособиться к условиям обитания

в разнообразных ландшафтах, включая тундру, тайгу, прерию, пустыню и дождевой тропический лес.

© К.Н.Несис,
доктор биологических наук
Москва

Археология

Нейрохирургия каменного века

Много раз при археологических раскопках находили черепа древних людей со следами прижизненной трепанации. Немало среди них было и черепов с заросшим повреждением — свидетельство того, что после операции человек выжил и жил долго. Такие черепа находили и в Западной Европе, и в Древнем Египте, и в Перу, но в большинстве случаев они относились к периодам уже относительно высокого развития цивилизации. Недавно получено доказательство успешной трепанации черепа знахарями каменного века.

Хорошо сохранившиеся останки человека найдены в сентябре 1996 г. при раскопке неолитического некрополя в Энзисхайме (Эльзас, Франция). Это раннеземледельческое поселение, существовавшее с 5200 до 4900 г. до н.э., исследовано группой антропологов, археологов и специалистов по черепно-лицевой хирургии (K.W.Alt et al.) из университетов Фрайбурга (Германия), Страсбура и Бордо (Франция).

Человек умер, судя по радиоуглеродной датировке, за 5100 лет до н.э.; это полностью совпадает с датировкой предметов из его могилы. Было ему около 50

лет — по тем временам почти что глубокая старость, но его останки не несут следов какой-либо серьезной болезни. В нижней челюсти даже все зубы целы! На черепе, на самой макушке, — следы двух обширных отверстий. Неясно, были ли они проделаны одновременно или последовательно. Одно, на лобной кости и более узкое (6.5 на 6.0 см), заросло полностью. Другое, правее и немного позади первого, расположенное на обеих теменных костях, крупнее (9.5 на 9.0 см) и заросло лишь частично.

Нейрохирурги знают, что при операциях на черепе отверстие диаметром свыше 5 см, как правило, целиком не зарастает, что не мешает успешному выздоровлению. Впрочем, обычно закрывают незаросшее отверстие серебряной пластинкой. Тогда пластинок не знали, однако человек выжил и поправился.

Для чего древние знахари проводили такую сложную операцию, как трепанация черепа? Подобная «медицинская практика» еще до недавнего времени сохранялась кое-где в Центральной Африке, и применяли ее чаще всего, чтобы выпустить «злого духа» из головы, например при душевных болезнях, стойких головных болях, повышении внутричерепного давления, эпилепсии и т.п. Чем болел житель Эльзаса 7100 лет назад, никто уже, конечно, не скажет, но то, что он выжил, выздоровел и дожил до старости, свидетельствует о высоком искусстве знахарей каменного века, хорошем знании анатомии человека и высоком качестве их инструментария.

Nature. 1997. V.387. № 6631. P.360 (Великобритания).

Лауреаты Нобелевской премии 1997 года

По физике — С.Чу, К.Коэн-Таннуджи, У.Д.Филлипс

Шведская Королевская академия наук приняла решение присудить Нобелевскую премию 1997 г. по физике профессорам С.Чу, К.Коэн-Таннуджи и доктору У.Д.Филлипсу за развитие методов охлаждения и захвата атомов лазерным светом.

Стивен Чу (Steven Chu) родился в 1948 г. в Сент-Луисе (штат Миссури, США). Докторскую диссертацию по физике защитил в 1976 г. в Калифорнийском университете в Беркли. С 1990 г. — профессор Станфордского университета. Лауреат международной премии по физике короля Фейсала (1993).

Клод Коэн-Таннуджи (Claude Cohen-Tannoudji) родился в 1933 г. в Константине (Алжир). Докторскую степень получил в 1962 г. в Высшей нормальной школе (Париж). С 1973 г. — профессор Коллеж де Франс. Действительный член Французской академии наук. Лауреат премии по квантовой электронике Европейского физического общества (1996).

Уильям Д. Филлипс (William D. Phillips) родился в 1948 г. в Уилкс-Барре (штат Пенсильвания, США). Докторскую степень получил в 1976 г. в Массачусетском технологическом институте. Работает в Национальном институте стандартов и технологии в Гейтсберге (штат Мэриленд). В 1996 г. награжден медалью Альберта Майкельсона за

экспериментальное доказательство возможности лазерного охлаждения.

АТОМЫ В ОПТИЧЕСКОЙ ПАТОВЕ

В воздухе при комнатной температуре атомы и молекулы хаотически движутся в различных направлениях с характерной тепловой скоростью ~ 500 м/с. Исследовать частицы по отдельности невозможно — слишком быстро они покидают выбранную для наблюдения область. Охлаждая газ, можно уменьшить тепловые скорости, однако неизбежная конденсация газа — сначала в жидкую фазу, затем в твердую, — сближает атомы и молекулы до тесного контакта друг с другом, что снова не позволяет проводить эксперименты с отдельными частицами.

Не допустить конденсации в жидкость или заморозку можно, охлаждая достаточно разреженный газ (атомные и молекулярные пучки в вакууме), но даже при температуре, скажем, -270 °С характерные скорости молекул все еще велики: ~ 50 м/с. Значительное замедление атомных частиц достигается только вблизи абсолютного нуля температуры (-273 °С). Например, тепловая скорость атомов водорода при температуре в одну миллионную часть градуса (1 мкК) — около 20 см/с.

Мысль использовать лазерное излучение для торможения нейтральных

частиц в пучках возникла в середине 70-х годов. Физическая причина торможения пучка при его встречном облучении светом определенной частоты ясна: это — закон сохранения импульса. Идея и схема лазерного «охлаждения» нейтральных атомов была вынесена на обсуждение Т.Хэншем и А.Шавловым в 1975 г. Они предлагали облучать атомарные газы при комнатной температуре со всех сторон лазерным светом с частотой, меньшей того значения, при котором фотон поглощается покоящимся атомом. В таком случае атом, который движется навстречу лазерному лучу, вследствие эффекта Доплера приобретает способность резонансно поглотить фотон. В результате этого атом переходит в возбужденное состояние, но теряет скорость, восприняв импульс фотона. Возвращение в основное состояние происходит за короткое время (сотни мкс) благодаря спонтанному излучению, которое из-за своей изотропии приводит лишь к хаотизации движения атома. Конечно, наличие у линий радиационной ширины позволяет атому поглощать также и фотоны, летящие в попутном направлении, однако различие в сечениях поглощения для фотонов встречного и попутного лазерных лучей порождает в среднем тормозящую силу.

Заметного охлаждения атомов таким способом можно добиться, только



Стивен Чу

«удерживая» резонансные условия по мере уменьшения скоростей частиц. Хэнш и Шавлов предлагали перестраивать частоту лазеров, что по тому времени представлялось довольно фантастичной, технически нереализуемой идеей. Описанный способ охлаждения атомов лазерным излучением позднее стал называться допллеровским (Doppler cooling). В 1977 г. российский физики В.С.Летохов, В.Г.Миногин и Б.Д.Павлик опубликовали теоретическую работу, в которой рассмотрели процесс торможения двухуровневого атома светом лазера и показали, что охлаждение таким способом возможно до температур не ниже значения $T_{DL} = \hbar\gamma/k_B$, названного допллеровским пределом (здесь 2γ — радиационная ширина линии поглощения атома, \hbar , k_B — постоянные Планка и Больцмана). Эта оценка давала не столь уж низкие значения: например, для атомов натрия $T_{DL} = 240$ мкК. В последующие годы работы по лазерному охлаждению атомов предприняли несколько экспериментальных групп, но приблизиться к температурам $\sim T_{DL}$ не удалось ни одной из них.

Прорыв в микроградусную область температур на-



Клод Коэн-Таннуджи

чался с середины 80-х годов, когда С.Чу с коллегами в лаборатории Белл реализовал трехмерное допллеровское охлаждение атомов натрия до температуры 240 мкК. Использовалась схема с шестью попарно встречными лазерными лучами, которые пересекались под прямыми углами в зоне охлаждения атомов пучка, предварительно заторможенного с помощью отдельного лазера в одномерной геометрии. Замедленный атомный пучок направлялся в область пересечения лучей охлаждающих лазеров, где атомы за короткое время приходили в стационарное состояние, совершая далее диффузионное движение с характерными скоростями 20—30 см/с. В объеме ~ 0.1 см³ собиралось облачко из 10^7 — 10^8 атомов, которое выглядело как ярко светящаяся горошина. В этом облачке атомы двигались, как в густой вязкой жидкости, что дало повод назвать такое движение плаванием в оптической пачке (optical molasses). Достигнутая в эксперименте Чу температура отвечала «допллеровскому квантовому пределу» охлаждения двухуровневых атомов в лазерном поле. Атомы были охлаждены, но не захвачены:



Уильям Д. Филлипс

земное притяжение выводило их из оптической пачки за время ~ 1 с. Для локализации атомов в ограниченной области пространства требовалась ловушка. Поиски были недолгими: подходящим кандидатом для удержания холодных атомов оказался «зеэмановский замедлитель» У.Д.Филлипса. Его группа с начала 80-х годов вела поиски возможности магнитного торможения атомов в пучках, предварительно замедленных встречным лазерным лучом, с целью добиться их полной остановки. Использование катушек для создания неоднородного магнитного поля с направлением и градиентом вдоль оси пучка позволяло получить расщепление энергетических уровней (эффект Зеэмана), расстояние между которыми достигало минимума в точке с наименьшей индукцией. Замедление атомов фотонами луча лазера фиксированной частоты происходило благодаря «подстройке» частоты атомного перехода по мере перемещения частиц в область с минимумом магнитного поля. В своей установке Филлипс охладил атомный пучок до температуры 0.07 К (1982 г.). Использование ловушки открыло возмож-

ности для дальнейшего охлаждения захваченных холодных атомов и преодоления доплеровского предела — первого рубежа на пути к микроградусам.

ПО АМЕРИКАНСКИМ ГОРКАМ СНИЗУ ВВЕРХ

Когда Чу сумел охладить атомы в оптической палочке, Филлипс довольно быстро повторил этот эксперимент, а затем начал систематическое изучение холодных атомов в палочке, дополняя экспериментальную установку своими магнитными катушками. В 1987 г. он добился удержания атомов в оптической палочке, скомпенсировав гравитационное падение магнитной силой, действующей на атомы в неоднородном поле. Так была реализована ловушка, названная магнито-оптической (Magneto-Optical Trap, MOT). «Ограждение» в такой ловушке с градиентным полем невысокое, поэтому в ней могут удерживаться только самые холодные атомы. Задавшись целью точно определить температуру ансамбля захваченных атомов, Филлипс испробовал несколько новых измерительных методов, в одном из которых гравитационное падение атомов не только не мешало проведению измерений, а наоборот — помогало. Наблюдая с помощью отдельного лазера падение атомов вслед за выключением магнитного поля и облучающих палочку лазеров, он сумел проследить их траектории. В 1988 г. Филлипс установил, что температуру атомов натрия в ловушке можно опустить до 40 мкК, что в шесть раз ниже того значения, которое рассматривалось ранее как минимальное при доплеровском охлаждении. Для объяснения этого парадокса пришлось искать ка-

чественно новую причину, так как результат сомнения не вызывал. В 1989 г. группы Коэн-Таннуджи и Чу одновременно опубликовали две независимые работы, в которых глубокое охлаждение ниже T_{DL} объяснялось изменением поляризации лазерного света от точки к точке в области пересечения лучей. Предложенный механизм был назван охлаждением благодаря градиенту поляризации (cooling due to polarization gradient). Он может реализоваться в системе атомов, для которых состояния, отвечающие оптическим переходам, вырождены или имеют магнитную структуру. Механизм же доплеровского охлаждения в чистом виде работает, если основное состояние невырождено. Таким образом, полученная ранее оценка T_{DL} отвечала упрощенной модели и требовала пересмотра с более реалистических позиций.

Вот тогда очень кстати оказались теоретические расчеты различных усложненных схем охлаждения, проведенные к этому времени в Париже группой Коэн-Таннуджи. Объяснить результат Филлипса удалось, исходя из особенностей структуры низшей энергетической уровня атома натрия. Если основной уровень атома вырожден, то для разрешенных переходов соблюдения правила отбора по четности не требуется, а это значит, что в присутствии поля средний дипольный момент атома не обращается в нуль. Облучаемые светом атомы приобретают дипольный момент, который стремится выстроиться вдоль вектора напряженности электрического поля волны. Но так как атомы движутся, а поляризация света в шестилучевой геометрии не может быть сделана линейной и всюду

одинаковой в области освещения, им приходится переориентировать свой дипольный момент. Непрерывно перестраиваясь, атом отбирает энергию от электрического поля волны, как бы карабкаясь вверх, а затем в результате спонтанного излучения сваливается вниз. Этот маленький энергетический «бугорок» целиком лежит внутри радиационной ширины линии ($\langle d \cdot E \rangle \ll \hbar \gamma$), что и обеспечивает снятие возбуждения за счет спонтанного излучения. Похожее объяснение этому механизму охлаждения, названному также в шутку сизифовым (Sisyphus cooling), дал Чу, рассматривая перестройку наведенного волной дипольного момента как квадратичный эффект Штарка.

Преодолев доплеровский барьер, физики очень быстро обнаружили следующее препятствие, связанное с увеличением скорости отдачи атома при испускании им фотона в условиях понижения температуры до единиц мкК. Для атомов натрия температура, отвечающая этому «пределу отдачи» (recoil limit), оценивалась в 2.4 мкК, для несколько более тяжелых атомов цезия — 0.2 мкК. Погоня за микроградусами стала напоминать движение по американским горкам, только не сверху вниз, а наоборот.

В сотрудничестве с парижской группой Коэн-Таннуджи Филлипс установил, что атомы цезия можно охладить в оптической палочке до температуры около 2 мкК — примерно в десять раз большей предела отдачи. Далее они показали, что при подходящей расстановке лазеров возможен такой захват атомов, когда они группируются в регулярную пространственную решетку, названную оптической, с периодом в длину волны

света. Оценка температуры, до которой можно охладить атомы в оптической решетке, давала всего пятикратное превышение над пределом отдачи.

ПРЕДЕЛ ОТДАЧИ ПРЕОДОЛЕН

При охлаждении атомов в оптической пачке до температур ~ 1 мК процесс отдачи сопровождается поглощением и испусканием фотонов всеми атомами, в том числе и самыми холодными. Это приводит хотя и к небольшому, но не пренебрежимо малым изменениям скоростей частиц, что и означает наличие у газа некоторой температуры. Если заставить самые медленные атомы не «замечать» фотоны в оптической пачке, то можно надеяться достичь и более низких температур. Один из способов сделать атомы «темными», т. е. невидимыми для фотонов, и тем самым избежать поглощения был известен. Однако было неясно, как скомбинировать этот способ с лазерным охлаждением.

Все же группе Коэн-Таннуджи, потратившей немало времени на поиски, удалось найти метод охлаждения, в котором медленные атомы переходят в темное состояние. Метод был назван избирательным по скорости, когерентным пленением населенностей (velocity-selective coherent population trapping). Эксперимент проводился с атомами гелия, для которых отвечающая пределу отдачи температура составляет 4 мК. Использовался пучок атомов, предварительно возбужденных в метастабильное состояние с достаточно большим временем жизни $\sim 10^{-2}$ с. Характер электронного строения ^4He позволяет осуществить оп-

тическую накачку неподвижных атомов в стационарное смешанное состояние, невосприимчивое к фотонам охлаждающих лучей. Для движущихся атомов такое состояние не стационарно, но вероятность поглощения света оказывается пропорциональной квадрату их скорости, так что чем медленнее они движутся, тем дольше находятся в темном состоянии. Это и означает «накапливание» атомов в состояниях с малыми импульсами поступательного движения и когерентным распределением по внутренним степеням свободы. В первом эксперименте было достигнуто поперечное охлаждение пучка, для которого одномерное распределение атомов по скоростям отвечало температуре 2 мК. С четырьмя лазерными лучами они получили двумерное распределение, температура которого 0.25 мК означала уже выход в наноградусную область. Наконец, в шестилучевой геометрии полное распределение частиц по скоростям соответствовало температуре 0.18 мК. В этих условиях атомы гелия еле движутся, их средняя скорость всего ~ 2 см/с!

Группа Чу нашла другой путь охладить атомы ниже предела отдачи. Они совместили рамановские переходы (комбинационное рассеяние света) между сверхтонкими подуровнями основного состояния атомов натрия с оптической накачкой в нижнее по энергии состояние этого дублета через отдельный вспомогательный уровень. По сравнению с обычным однофотонным переходом между подуровнями сверхтонкой структуры рамановские переходы в два раза чувствительнее к доплеровскому сдвигу движущихся атомов, если лучи с частотами f_1 и

f_2 , вызывающие рамановский переход, распространяются навстречу друг другу. Если разность $f_1 - f_2$ меньше чем требуется для двухфотонного резонанса, тормозиться будет атом, имеющий скорость $+v$ (летящий навстречу лучу f_1). При изменении направления лучей на противоположное тормозиться будет атом, скорость которого $-v$. Создав серию рамановских импульсов с изменяющимися частотой, отстройкой, длительностью и направлением, можно не только растянуть частотный спектр лазерного поля, но и задать ему требуемую эволюцию так, чтобы заставить все атомы возбуждаться на верхний подуровень основного состояния за исключением самых медленных ($v \geq 0$). Замедленные на этом подуровне атомы далее переводятся на самый низкий по энергии уровень путем оптической накачки, как сказано выше. Этот метод, названный рамановским охлаждением (Raman cooling), потребовал для своей реализации высокого экспериментального мастерства и позволил группе Чу также достичь наноградусной области при охлаждении атомов натрия в одномерной геометрии (до температуры 0.1 мК).

*

Методы охлаждения газов в микроградусную область температур и ниже были развиты С. Чу, К. Коэн-Таннуджи и У. Д. Филлипсом в целом ряде работ, начатая с середины 80-х годов. Полученные результаты значительно продвинули наши знания о взаимодействии излучения с веществом и позволили глубже понять квантовомеханическое поведение газов при сверхнизких температурах. На основе развитых нобелевскими

лауреатами методов недавно удалось наблюдать тонкое явление — конденсацию Бозе-Эйнштейна в атомарных газах. Реализован новый атомный эталон частоты, точность которого на два порядка выше ныне существующего — цезиевого. Разработка более точных атомных часов, в частности для их использования в космической навигации, скоро станет технологичес-

кой проблемой. Отмеченные Нобелевским комитетом методы указывают пути к созданию атомного интерферометра, который поможет выполнить точнейшие измерения гравитационных сил, атомного лазера — инструмента будущего квантовой микроэлектроники, атомно-волновых элементов квантовых компьютеров. Поднимаясь по лестнице своей эволюции, оптика по очереди

прошла ступени фотонов, электронов, нейтронов. Теперь она вышла на следующий уровень — оптику атомов. Блистательный прорыв в микроградусную область открыл новые горизонты для будущих исследований.

© Ю.К.Джикаев,
кандидат физико-математических наук
Москва

По химии — П.Бойер, Дж.Уокер, Й.-К.Скоу

НОБЕЛЕВСКАЯ премия по химии за 1997 г. присуждена Полу Бойеру (P.D. Boyer; Институт молекулярной биологии Калифорнийского университета, Лос Анджелес, США) и Джону Уокеру (J.E. Walker; Лаборатория молекулярной биологии Совета медицинских исследований, Кембридж, Великобритания) за изучение структуры и механизма действия H^+ -транспортующей аденозинтрифосфатазы.

За последние 20 лет это третья Нобелевская премия, отмечающая исследования в области биоэнергетики. Приятно отметить, что это направление биологической науки своим рождением обязано российскому ученому — В.А.Энгельгардту, открывшему окислительное фосфорилирование, и В.А.Белицеру, который впервые его количественно охарактеризовал¹. Три Нобелевские премии по химии, присужденные за работы в области биохимии,

свидетельствуют о том, что именно она сегодня развивается наиболее бурно и успешно. Даже краткое описание сути работ, увенчанных главной научной премией, показывает, что успешное решение крупных биохимических задач возможно только благодаря непременному сочетанию классических энзимологических исследований и структурного анализа.

Выяснение механизма окислительного фосфорилирования в терминах современной физико-химической биологии началось 37 лет назад, когда в США в лаборатории одного из крупнейших энзимологов XX в. Э.Ракера (E. Racker) выделили белок, оказавшийся одновременно и ферментом аденозинтрифосфатазой (АТФазой) и «сопрягающим фактором», способным восстанавливать окислительное фосфорилирование в мембранах митохондрий². Этот фермент — главный участник синтеза АТФ в митохондриях, хлоропластах и

микроорганизмах получил название F_1 -АТФаза, и его изучению с начала 60-х годов посвящены тысячи работ.

Тогда же в работу включился другой выдающийся энзимолог, в то время главный редактор широко известного классического многотомного издания «Enzymes», Пол Бойер, известными своими замечательными работами в области фосфотрансферных реакций. Детальное изучение кинетики АТФаз F_1 -типа и в особенности реакций изотопных обменов, катализируемых ими, позволило Бойеру, вдохновленному, видимо, идеями М.Лаздунского (M. Lazdunski; Франция) и К.Репке (K. Repke; ГДР)³, сформулировать новый принцип работы олигомерных ферментов, позднее получивший название «механизма чередующегося связывания». Постулаты, предложенные Бойером применительно к работе F_1 -АТФазы, сводились к сле-

¹ Энгельгардт В.А. // Казан. мед. журн. 1931. Т.27. С.496—504; Белицер В.А., Цыбакова Е.Т. // Биохимия. 1939. Т.4. С.516—621.

² Pullman M.E., Penefsky H.S., Datta A., Racker E. // J. Biol. Chem. 1960. V.235. P.3322—3329.

³ Lazdunski M., Petitclerc D., Chappellet D., Lazdunski C. // Eur. J. Biochem. 1971. V.20. P.124—135; Repke K.R.H., Schon R. // Acta biol. med. germ. 1974. V.33. P.k27—k28.

дующему⁴. Во-первых, энергия, необходимая для синтеза АТФ, тратится не на образование фосфоангидридной связи между АДФ и фосфатом (Ф_n), как думали раньше, а на диссоциацию АТФ из активного центра, где она синтезируется спонтанно (изоэнергетически), вследствие чрезвычайно высокого сродства фермента к продукту реакции. Во-вторых, субстраты и продукты синхронно связываются в различных, но взаимодействующих между собой, центрах. В-третьих, сродство активных центров к субстратам и продуктам чередуется благодаря векторному переносу протонов через встроенный в сопрягающую мембрану комплекс белков (F₀), связанных с F₁. Перенос протонов обеспечивает (неизвестно, каким образом) вращение одного из компонентов фактора F₁ (γ) внутри комплекса каталитических субъединиц.

Четкая формулировка принципа энергетического сопряжения в белковой машине, синтезирующей АТФ, привела к мощному всплеску работ, направленных на проверку гипотезы Бойера. Все три постулата получили экспериментальное подтверждение. Пожалуй, наиболее впечатляющей стала недавняя работа японских исследователей⁵, которым удалось прямыми оптическими методами наблюдать вращение γ-субъединицы внутри гексамера, построенного из двух других типов



П. Бойер

субъединиц (α и β) для индивидуальных молекул иммобилизованного F₁.

К 70-м годам стало ясно, что для понимания работы F₁-АТФазы необходимы сведения о ее пространственной организации. В этот период в решение проблемы включилась кембриджская группа, руководимая Дж. Уокером — специалистом в области химии белка и рентгеноструктурного анализа. К 1985 г. он и его сотрудники полностью расшифровали первичные структуры всех пяти типов субъединиц (3α, 3β, γ, δ, ε) фактора F₁, выделенного из митохондрий сердца быка⁶. Это послужило необходимой предпосылкой для рентгеноструктурных исследований. В 1993 г. Уокер с сотрудниками получили пространственную структуру F₁ с разрешением 6.5 Å, а год спустя — трехмерную струк-



Дж. Уокер

туру⁸, где взаимное расположение 2983 из 3444 аминокислотных остатков α- и β-субъединиц и 127 из 272 остатков γ-субъединицы видны с разрешением 2.8 Å. Сегодня это почти полная пространственная структура самого крупного из гетероолигомерных белков, расшифрованная с таким высоким разрешением. Замечательно, что «увиденная» Уокером структура в точности соответствует предполагаемой организации белковой машины, работающей по постулированному Бойером механизму.

Присуждение Нобелевской премии всегда крупное событие для всех ученых. Неспециалистам может показаться, что признание Нобелевским комитетом результатов научного исследования означает, что данная проблема решена. Применительно к работам П. Бойера и Дж. Уокера это не так. Ведь изученный ими фермент F₁-АТФаза — только часть «машины», сама по себе не способная синтезировать АТФ: она может осуществлять только обратную реакцию — гидро-

⁴ Kayalar C., Rosing J., Boyer P.D. // J. Biol. Chem. 1977. V.252. P.2486—2491; Boyer P.D., Kohlbrenner W.E. // Energy Coupling in Photosynthesis / B.Selman, S.Selman-Reiner (eds.) N.Y., 1981. P.231—240.

⁵ Noji H., Yasuda R., Yoshida M., Kinoshita K.Jr. // Nature. 1997. V.386. P.299—302.

⁶ Walker J.E., Fearnley I.M., Gay N.J., Gibson B.W., Northrop F.D., Powell S.J., Runswick M.J., Saraste M., Tybulewicz V.L.J. // J. Mol. Biol. 1985. V.184. P.677—701.

⁷ Abrahams J.P., Lutter R., Todd R.J., Raaij M.J. van, Leslie A.G.W., Walker J.E. // EMBO Journal. 1993. V.12. P.1775—1780.

⁸ Abrahams J.B., Leslie A.G.W., Lutter R., Walker J.E. // Nature. 1994. V.370. P.621—628.

литический распад. Для синтеза необходима согласованная работа F_1 -АТФазы и протонного канала F_0 , поставляющего энергию для образования АТФ. О структуре F_0 , о способе сопряжения работы F_1 и F_0 сегодня почти ничего не известно. Более того, есть основания считать, что так называемый «принцип микрообратимости» не всегда реализуется в ходе ферментативных реакций. Таким образом, проблема, поставленная в России в 30-х годах — как происходит окислительное фосфорилирование, — ждет новых Нобелевских лауреатов.

© Профессор
А.Д.Виноградов
МГУ

* * *

НОБЕЛЕВСКАЯ премия по химии за 1997 г. присуждена датскому ученому Й.-К.Скоу за фундаментальное изучение фермента Na/K-АТФазы.

Йенс-Кристиан Скоу (Jens-Christian Skou) родился 8 октября 1918 г. в г.Лемвиге (Дания). Высшее образование получил на медицинском факультете Копенгагенского университета. В 1954 г. за исследование действия локальных анестетиков получил степень доктора медицины. С 1963 г. — профессор Института физиологии Орхусского университета, в 1978—1988 гг. — профессор Института биофизики того же университета; почетный профессор Копенгагенского университета, лауреат ряда международных научных премий, член Датского королевского общества, Германской академии естественных наук Леопольдина, Европейской организации по молекулярной биологии (EMBO), американской Национальной академии наук, Японского

биохимического общества; автор более 90 научных трудов, опубликованных в международных биохимических журналах.

В биоэнергетику Скоу пришел одновременно с ее возникновением. Его публикация 1957 г. с первым описанием свойств Na/K-активируемой АТФазы стала одной из основополагающих в этой области¹. С тех пор и по сей день Скоу целиком посвятил себя изучению этого фермента, контролирующего ключевые стадии жизни клетки: электрическую активность, транспорт субстратов и метаболитов, регуляцию клеточного цикла.

Скоу разработал первую схему работы Na/K-АТФазы и описал свойства промежуточного фосфорилированного интермедиата. Он сформулировал принцип конформационной лабильности фермента и показал, что изменение его сродства к ионам натрия и калия, индуцируемое АТФ, приводит к таким перестройкам в глобуле АТФазы, которые обеспечивают транспорт ионов через мембранный бислой². Из пионерских исследований Скоу вытекает регуляторная роль АТФ, выступающей не только как источник энергии, но и как модулятор активности самого фермента³.

Интересно, что сопоставление эффективности пуриновых и пиримидиновых нуклеотидов в процессе окислительного фосфорилирования также указывает на специфическую роль АТФ в превращении энергии в ми-



Й.-К.Скоу

тохондриях⁴. Это обстоятельство обращает внимание на особое положение в обмене пуриновых нуклеотидов, структура которых позволяет им при взаимодействии с белком служить кратковременным акцептором протонов и индуцировать тем самым разрыв солевых связей в глобуле белка и его последующие конформационные изменения. Этот процесс, как оказалось, составляет центральное звено в последовательности событий при работе Na/K-АТФазы, в ходе которых фермент теряет сродство к ионам калия и приобретает его к ионам натрия.

Недавно было продемонстрировано, что модулирующий эффект АТФ на Na/K-АТФазу выражается в регуляции взаимодействия молекул фермента, способных в ходе функционирования образовывать в мембране надмолекулярные (олигомерные) ассоциаты⁵.

¹ Skou J.-Ch. // *Biochim. Biophys. Acta.* 1957. V.23. P.394—401.

² Skou J.-Ch., Esmann M. // *Ibid.* 1980. V.601. P.382—402.

³ Skou J.-Ch. // *Ibid.* 1989. V.1000. P.435—438.

⁴ Skulachev V.P. // *Nature.* 1963. V.198. P.444.

⁵ Boldyrev A., Lopina O., Fedosova N. // *Biochem. Int.* 1990. V.21. P.45—52; Boldyrev A., Kurella E. // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1996. V.222. P.483—487.

Работы Скоу заложили основу для понимания механизма трансформации энергии в животных клетках.

Na/K-АТФаза — единственный фермент, которому начиная с 1974 г. посвящаются международные конференции (последняя, восьмая, состоялась в Аргентине в 1996 г.). Регулярные встречи объединяют ученых, работающих в этой области, в единый международный коллектив. Скоу никогда не выступал в качестве формального главы этого направления биоэнергетики, однако все участники воспринимают его как центр интеллектуального притяжения.

Я испытал удовольствие работать в лаборатории Скоу в Университете Орхуса в 1973—1974 гг. До сих пор я отчетливо помню ощущение тщательности и скрупулезности, присущие его научному стилю.

В мае 1991 г., может быть, в один из самых тяжелых периодов для российской науки, Скоу посетил Московский университет и выступил с лекцией перед студентами и сотрудниками кафедры биохимии. Самое важное, сказал он, чтобы молодежь поверила, что в этой стране она имеет научное будущее.

Сегодня мы поздравляем Йенса-Кристиана Скоу с высокой наградой. Все биоэнергетики считают себя немного причастными к этому событию — в лице Скоу отмечены успехи науки, которая имеет весьма перспективное будущее. И мы уверены, научная молодежь нашей страны безусловно найдет в ней свое место.

Примите наши искренние поздравления, профессор Скоу!

© А.А.Болдырев,
доктор биологических наук
МГУ

По физиологии и медицине — С.Прузинер

НОБЕЛЕВСКАЯ премия по физиологии и медицине в 1997 г. присуждена выдающемуся американскому исследователю Стенли Прузинеру за «открытие прионов — нового биологического принципа инфекций». Не вызывает сомнений, что значение концепции прионов, разработанной Прузинером выходит далеко за рамки чисто медицинских проблем и имеет фундаментальную значимость для биологии в целом.

Стенли Прузинер (Stanley B. Prusiner) родился 28 мая 1942 г. в США. В 1964 г. окончил университет штата Пенсильвания, а через четыре года там же получил степень доктора медицины. В 1968 г. начал работать в Калифорнийском университете, где и трудится поныне. С 1984 г. — профессор. Обладатель 11 почетных наград, полученных от научных фондов разных стран в 1991—1996 гг.

Немаловажным обстоя-

тельством, повлиявшим на выбор Нобелевского комитета, вероятно, послужил и тот общественный резонанс, который получила проблема прионных заболеваний в последнее время. Что же такое прионы, в чем их уникальность и каково их значение? Ответы на эти вопросы помогут понять, почему исследования прионов удостоены Нобелевской премии.

Прионы отличаются от всех прочих инфекционных патогенов (вирусов, бактерий и др.) тем, что у них отсутствует какой-либо геном, т.е. ДНК или РНК. Предполагается, что именно такие инфекционные агенты вызывают группу неизлечимых дегенеративных заболеваний центральной нервной системы человека и животных. Наиболее известные из них у человека — это болезнь Крейтцфельда—Якоба (БКЯ) и синдром Гертсмана—Штраусслера—Шейнкера (ГШШ), а у животных — скрейпи овец

и губчатая энцефалопатия крупного рогатого скота, называемые иногда в средствах массовой информации чесоткой овец и коровьим бешенством или губчатым энцефалитом. Эти заболевания, независимо от того, у кого они возникли — у человека или животных, сопровождаются морфологическими изменениями тканей мозга и появлением в них амилоидоподобных бляшек, содержащих палочкообразные белковые агрегаты. Уникальная особенность этих заболеваний состоит в том, что они возникают не только в результате инфекции: известны спорадические и наследственные формы БКЯ и ГШШ, причем вне зависимости от своего происхождения болезнь может передаваться далее инфекционным путем.

Заболевания, ныне относимые к прионным, известны у животных более 200 лет, а у людей — с начала века, однако их активные исследования



С. Прузинер

стали возможны лишь в последние 50 лет. В 60-х годах работы К.Гайдушека (D.C.Gajdusek), удостоенного в 1976 г. Нобелевской премии, показали, что заболевания, ныне относящиеся к прионным, инфекционны¹. Первое наблюдение инфекционности скреypi в 1946 г. было случайным: стадо овец иммунизировали вакциной, выделенной из животного, которое, как оказалось впоследствии, было больно скреypi. Несмотря на то, что эту вакцину обработали формалином, около 10% привитых животных заболели скреypi. Впоследствии удалось подтвердить, что ткани мозга больных овец действительно содержат инфекционный агент, который при инъекции здоровому животному может вызвать скреypi. У человека болезни этого типа также относятся к инфекционным, поскольку мозг людей, умерших от БКЯ, содержал инфекционное начало, способ-

ное заразить человекообразных обезьян. Веским аргументом в пользу гипотезы о заразности такого заболевания для человека стали и эпидемиологические исследования на о-вах Новой Гвинеи. До 70-х годов нашего века коренное население островов страдало от эпидемии болезни, называемой там «куру». Длительные исследования позволили установить, что передача данного заболевания связана с обычаем ритуального каннибализма, при котором в знак уважения к умершим родственникам их полагалось съедать. С прекращением этой традиции исчезла и эпидемия куру. В сумме подобные исследования привели к выводу об инфекционности данного класса нейродегенеративных заболеваний человека и животных.

Дальнейший прогресс в изучении прионов связан с введением в обиход модельных животных — мышей и хомячков, что позволило сократить длительность экспериментов по передаче скреypi с нескольких лет до нескольких месяцев. Выяснилось, что агент скреypi свободно проходит через фильтры, задерживающие одноклеточные патогены (бактерии, грибы и т.д.), вследствие чего некоторое время скреypi считали особым, «медленным» вирусом. Однако затем обнаружилось, что этот агент устойчив к воздействиям, убивающим вирусы и любые живые клетки (обработка формалином, ультрафиолетовое облучение). В то же время инфекционный агент был чувствителен к протеазам и воздействиям, денатурирующим белок. Таким образом, получалось, будто данный патоген представляет собой инфекционный белок, что находилось в

серьезном противоречии с основными постулатами молекулярной биологии. Чтобы разрешить этот парадокс, математик Дж.Гриффит (J.S.Griffith) предположил, что данный вирус имеет совершенно необычную природу — не содержит никакого генетического материала, а представляет собой особую измененную форму одного из клеточных белков, способную воспроизводить свои свойства за счет автокаталитического механизма. В то время эта гипотеза была лишь одной из многих, и лишь последующие труды Прузинера и других исследователей показали, что она верна.

Исследования прионов, принешие впоследствии широкое признание, Прузинер, медик по образованию, начал в 1972 г., после гибели одного из своих пациентов от деменции, названной БКЯ. В 1982 г. он вместе с коллегами выделил агент скреypi и показал, что это белок. Прузинер назвал этот агент прионом (PROtein INfectious agent), а белок — PrP (Prion Protein). Определение аминокислотной последовательности PrP позволило в 1985 г. идентифицировать кодирующий его ген *Prnp*. Этот ген обнаружили в геномах всех млекопитающих, а также у птиц. Получение антител к PrP позволило определить его тканеспецифическую экспрессию и субклеточную локализацию — он оказался мембранным белком, экспрессирующимся независимо от прионной инфекции. Функция белка PrP неясна, однако он не является жизненно важным. Удаление гена *Prnp* делало животных невосприимчивыми к прионной инфекции, что подтвердило ключевую роль PrP. Прионная форма PrP (PrP^{Sc}) отличается от нормальной

¹ Канторович Р.А. Лауреаты Нобелевской премии 1976 года. По медицине — Б.Безамберг и К.Гайдушек // Природа. 1977. № 1. С.128—131; Кунин Е.В., Чумаков К.М. Вирусы без нуклеиновой кислоты // Природа. 1985. № 9. С.58—67.

клеточной формы (PrP^{C}) повышенной гидрофобностью и склонностью к агрегации, а также гораздо более высокой устойчивостью к протеазам. Поиск первопричины этих отличий обнаружил, что прионная форма PrP не отличается какими-либо ковалентными модификациями, но имеет измененную конформацию с повышенным содержанием β -складчатой структуры. Эти результаты составляли основу современного знания о прионах. Конечно, Прузинер и его лаборатория не были единственными, кто получил все описанные результаты, однако его лидирующая роль несомненна. В настоящее время концепцию прионов как инфекционных белков можно считать доказанной, хотя время от времени и появляются работы, пытающиеся связать инфекционность прионов с вирусами. Присуждение Нобелевской премии, видимо, свидетельствует о победе прионной теории.

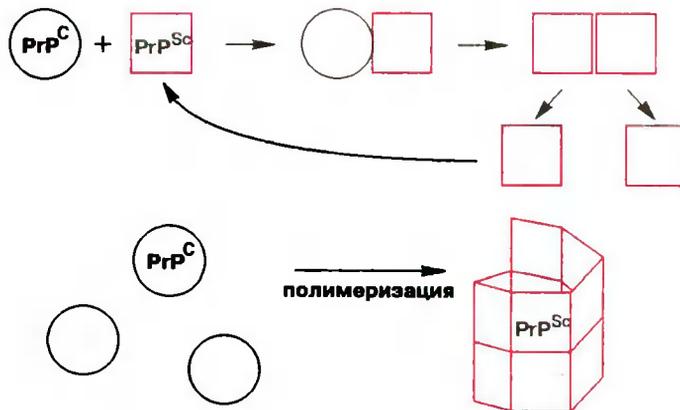
Современные представления о прионах позволяют предполагать следующий механизм инфекции: патогенный белок PrP^{Sc} , попадая в клетку (или связываясь с ней, поскольку PrP^{C} в норме локализован на по-

верхности клеток), способствует путем белок-белковых взаимодействий превращению нормального клеточного белка PrP^{C} в прион PrP^{Sc} . В случае спорадических или наследственных прионных заболеваний возникновение PrP^{Sc} из PrP^{C} происходит спонтанно. При этом наследственные болезни связаны с аллелями PrPr , кодирующими белки, которые имеют повышенную склонность к такому спонтанному превращению. Сам механизм прионного превращения до сих пор не ясен. Например, неизвестно, участвуют ли в этом процессе какие-либо другие молекулы, кроме PrP . При смешивании очищенных PrP^{C} и PrP^{Sc} нормальный белок превращается в патогенный, однако эффективность этого процесса весьма низка. Таким образом, участие других молекул не обязательно, но может играть вспомогательную роль.

Существуют две основные модели, описывающие передачу прионных свойств белком PrP^{Sc} (см. рисунок). Согласно первой, гетеродимерной модели Прузинера, прионное состояние присуще мономеру PrP , который катализирует конформационный переход PrP^{C} в PrP^{Sc}

через образование комплекса $\text{PrP}^{\text{C}} : \text{PrP}^{\text{Sc}}$. При этом агрегация PrP^{Sc} рассматривается как вторичный процесс, несущественный для прионообразования. Однако многие исследователи, в том числе авторы данной статьи, придерживаются иной, полимеризационной модели. В этой модели прион — это упорядоченный полимер PrP , который можно было бы назвать одномерным кристаллом. Наличие такого полимера необходимо для дальнейшей полимеризации, подобно тому, как кристаллизация соли из перенасыщенного раствора требует присутствия мельчайших кристалликов в качестве затравки. Особенность прионной кристаллизации состоит в том, что одновременно с присоединением белковой молекулы к кристаллу значительно меняется ее конформация. Этот механизм не беспрецедентен: предполагается, что так образуются фибриллы амилоидобразующих белков, которых сейчас известно 16. Вероятно, прионы представляют собой инфекционную разновидность амилоидных фибрилл.

Несмотря на отсутствие генома, у прионов существуют межштаммовые отличия, которые сохраняются при пассировании в линейных мышцах, т.е. на выравненном генетическом фоне. Наличие штаммов прионов плохо объясняется гетеродимерной моделью Прузинера: нельзя представить множество различных конформаций мономера PrP , не только обладающих стабильностью, но и способных



Модели образования прионов: сверху — гетеродимерная (по С. Прузинеру), внизу — полимеризационная

к точному воспроизведению. В полимерной же модели межштабные отличия объясняются различными типами укладки белка PrP в фибриллы. Возможность укладки одного белка в различные кристаллические формы неоднократно наблюдалась ранее в случае обычной, трехмерной кристаллизации. Понятно, что каждый тип укладки может воспроизводиться при полимеризации неограниченно долго.

Первичная структура белка PrP имеет лишь небольшие отличия у разных видов млекопитающих и человека. Это открывает неприятную возможность передачи прионных заболеваний от животных к человеку, хотя на самом деле она сильно затруднена между различными видами. Этот эффект, называемый межвидовым барьером, отражает необычайно высокую чувствительность прионообразования к изменениям аминокислотной последовательности приона. В последнее время, в связи с распространением бычьей энцефалопатии (БСЕ), активно обсуждается вопрос о вероятности передачи ее человеку через зараженное мясо. Принципиальную возможность такой передачи сейчас можно считать доказанной, но на практике она достаточно мала: в мире насчитывается не более 20 случаев, в которых предполагается заражение людей БСЕ. При уменьшении масштабов эпизоотии БСЕ и надлежащем контроле за качеством мяса вероятность заражения можно свести к минимуму.

Разработка теории прионов и ее признание позволили выявить прионоподобные механизмы у совершенно иных организмов — у дрожжей *Saccharomyces* и

гриба *Podospora*. В свою очередь открытие прионов у низших эукариот придает новое звучание самой проблеме, подчеркивая, что эти белки — общебиологическое явление, а не экзотический случай.

У пекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* известны два нехромосомно наследуемых генетических фактора — $[PSI^+]$ и $[URE3]$. По своему фенотипическому проявлению они совсем не похожи: один связан с дефектом терминации синтеза белка, а другой — с регуляцией метаболизма азота. Однако их генетические характеристики очень близки и отличаются от свойств обычных генов: они наследуются как детерминанты, локализованные в цитоплазме; на них не действуют обычные мутагены, зато их можно устранить при помощи разнообразных воздействий, вызывающих стресс. В частности, эти факторы крайне чувствительны к малым концентрациям гидрoхлорида гуанидина, вещества, которое вызывает денатурацию белков, но лишь при гораздо более высоких концентрациях; существование каждого из этих нехромосомных факторов зависит от наличия белков Sup35 (фактора трансляции) или Ure2 (регулятора метаболизма азота) соответственно. Оба фактора не могут представлять собой какие-либо эпизомные плазмиды, поскольку их потери обратимы — после исчезновения факторы могут возникать вновь, причем частота их возникновения возрастает в сотни раз при сверхэкспрессии соответствующего белка.

Эти и некоторые другие свойства обоих факторов не поддавались объяснению с точки зрения «нормальной» генетики, однако все они стали совершенно

понятными, когда в 1994 г. Р. Уикнер (R.B. Wickner) предположил, что наличие в клетке факторов $[PSI^+]$ или $[URE3]$ связано с прионоподобным состоянием белков Sup35 или Ure2. За короткий срок гипотезу подтвердили биохимики, показав, что свойства этих белков действительно весьма похожи на свойства прионов. В прионном состоянии Sup35 или Ure2 образуют агрегаты и проявляют повышенную устойчивость к протеазам. Поскольку в отличие от прионов млекопитающих функции этих белков известны, удалось объяснить и фенотипы, вызываемые их прионным состоянием. Агрегация препятствует основной функции этих белков, и поэтому фенотипы $[PSI^+]$ и $[URE3]$ соответствуют снижению или отсутствию активности Sup35 и Ure2. Кроме того, прионное превращение Sup35 воспроизвели *in vitro* с весьма высокой эффективностью. Также *in vitro* было замечено, что очищенный белок Sup35 способен самопроизвольно полимеризоваться в высокоупорядоченные фибриллы, подобные амилонидным у человека. Такие фибриллы, вероятно, составляют структурную основу прионных агрегатов Sup35 *in vivo*. Столь быстрый прогресс во многом связан с тем, что дрожжи *S. cerevisiae* — один из наиболее разработанных молекулярно-биологических объектов. Путь, который Прузинер и другие исследователи прионов млекопитающих начали в 1982 г., в генетике дрожжей пройден за три года. А некоторые результаты, полученные на дрожжах, не имеют аналогов в исследованиях PrP и, значит, дополняют их.

Так, использование дрожжей выявило новый

фактор, существенный для поддержания дрожжевых прионов. Стабильное поддержание фактора [PSI⁺] зависело от активности одного из белков теплового шока, Hsp104, который в норме необходим для разрушения агрегатов денатурированных белков. Интересно, что как отсутствие, так и сверхэкспрессия Hsp104 изгоняли фактор [PSI⁺]. Это наблюдение может иметь простое, хотя и парадоксальное объяснение. Не исключено, что Hsp104 действует на прионные агрегаты Sup35p так же, как и на агрегаты денатурированных белков, т.е. пытается их растворить, отделяя от них молекулы и возвращая им правильную конформацию. Если в клетке белка Hsp104 много, он растворяет все агрегаты и, следовательно, изгоняет [PSI⁺]. При нормальном уровне Hsp104 он успевает лишь делать разрывы в фибриллах Sup35p. При этом возрастает количество концов фибрилл, по которым происходит полимеризация, а значит, возрастает и общая скорость полимеризации. Таким образом, конечный эффект Hsp104 противоположен его исходной функции! Кроме того, фрагментация важна и для наследования прионов, т.е. для их передачи в дочерние клетки при клеточных делениях, поскольку один агрегат, хоть и очень большой, трудно разделить на две клетки. Таким образом, фрагментация белком Hsp104 замыкает жизненный цикл приона Sup35, который можно представить себе как чередование роста и фрагментации.

Прионы млекопитающих

скорее всего также представляют собой одномерно-кристаллические фибриллы, и для них возможен аналогичный механизм. Действительно, у животных имеется белок, подобный Hsp104, хотя, возможно, в фрагментации PrP^{Sc} участвуют и какие-то другие факторы — это предстоит выяснить. В любом случае фрагментация полимера PrP^{Sc} критична для размножения патогена, и воздействие на ген HSP104 или другие факторы фрагментации могло бы стать одним из перспективных подходов при лечении прионных болезней.

Выявление прионов у дрожжей показало их широкую распространенность в природе и стимулировало их поиск у других организмов. Так, у мицелиального гриба *Podospora* найден белок Het-s, прионные свойства которого определяют совместимость различных штаммов этого гриба при скрещивании.

Изначально прионам приписывали роль инфекционных агентов белковой природы, ответственных за возникновение некоторых нейродегенеративных заболеваний человека и животных. Обнаружение прионоподобных белков у низших эвкариот расширило круг прионов, в котором ни инфекционность, ни болезнетворность не обязательны. Например, амилоиды, образование которых характерно не только для прионных заболеваний, по большей части неинфекционны, а прионы дрожжей инфекционны лишь в ограниченном смысле: они передаются с цитоплазмой, но не через внеклеточное пространство. У млекопитающих прионы и

амилоиды ассоциируются с болезнями, однако у гриба *Podospora* и у дрожжей наследуемое переключение активности белков, вызванное их переходом в прионное состояние, скорее всего имеет адаптивное значение. Значит, инфекционность прионов — это лишь частный случай некоторого более широкого явления. Ключевое звено этого феномена — уникальный механизм передачи конформации между молекулами одного белка, который, вероятно, реализуется через образование одномерно-кристаллических фибрилл. Такой механизм — действительно неизвестное ранее фундаментальное свойство белковых молекул. Сомнительно, чтобы в природе не нашлось полезного применения такому уникальному свойству. По всей видимости, в скором будущем можно ожидать открытия новых процессов, использующих прионный принцип, в том числе и у высших организмов. Например, некоторые авторы считают, что способность к наследуемой регуляции функции прионных белков могла бы использоваться при клеточной дифференцировке и раковой трансформации.

Таким образом, исследования Стенли Прузинера могут оказаться лишь началом интересного и многообещающего направления в современной биологии — изучения прионов.

© В. В. Кушников,
кандидат биологических наук

М. Д. Тер-Аванесян,
доктор биологических наук
Кардиологический научный
центр МЗ РФ

Математика.

НЕОПУБЛИКОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ Л.ЭЙЛЕРА ПО ТЕОРИИ ЧИСЕЛ. СПб.: Наука, 1997. 255 с.

Знаменитый Леонард Эйлер (1707—1783) — математик, механик и физик швейцарского происхождения — более 30 лет (в общей сложности) прожил в России и сыграл важную роль в становлении Петербургской академии наук. Он оставил весьма обширное научное наследие, часть которого до сих пор не опубликована.

Настоящая книга посвящена неопубликованным материалам Л.Эйлера по теории чисел, извлеченным из его записных книжек, которые хранятся в Петербургском филиале Архива Российской академии наук.

Во введении освещается история приобщения Л.Эйлера к математике и разным отраслям естествознания, анализируются неопубликованные рукописи Эйлера по теории чисел. Книга включает следующие разделы: диофантов анализ, виды чисел, записи Эйлера по разбиению чисел (*partitio numerorum*), малую теорему Ферма, теорему Эйлера, заметки Эйлера по теории чисел из его записных книжек.

Сегодня готовится к публикации 4-я серия издания Полного собрания сочинений Л.Эйлера, включающая переписку и записные книжки великого ученого. Составители сборника надеются, что эта книга поможет исследователям работ Эйлера глубже проникнуть в творческий процесс ученого по теории чисел, увидеть новые грани его гения, характеризующие гигантскую продуктивность, пожа-

луй, не имеющую аналогов в истории науки.

История науки

Э.П.Грибова. ГЛЕБ МИХАЙЛОВИЧ ФРАНК. 1904—1976. М.: Наука, 1997. 316 с. (Сер. Научно-биографическая литература.)

Есть люди, встреча с которыми делает человека духовно богаче, задает шкалу ценностей и вектор жизни. Именно таким человеком, как рассказывается в книге, — Учителем в высоком смысле этого слова — был Глеб Михайлович Франк (1904—1976).

Эта книга — дань памяти Г.М.Франку людей, окружавших и знавших его. В ней — свидетельства времени, которые удалось собрать в архивах, а также сведения, почерпнутые из более чем 30 интервью с сотрудниками, соратниками и учениками Глеба Михайловича, выдающегося биофизика, академика. Он исследовал биофизические основы литогенетического излучения клеток, мышечного сокращения, нервного возбуждения, процессов регуляции клетки; показал связь структуры и функции в этих процессах. Создал количественные основы фотобиологии и фототерапии, радиобиологического поражения и защиты организма, получил первые количественные данные о воздействии факторов космических полетов на живые организмы. Франк был также выдающимся организатором науки: он основал Институт биофизики АН СССР в Москве, Институт теоретической и экспериментальной биофизики в г.Пушчино и, наконец, Пушинский центр биологических исследований.

Прошло более 20 лет с тех пор, как Г. М.Франк ушел из жизни, однако его научные идеи и заложенные им направления современной биофизики не только не потеряли своей актуальности, но по достоинству оцениваются у нас в стране и за рубежом.

Экология

А.К.Тулехонов. БАЙКАЛЬСКИЙ РЕГИОН: ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 208 с.

Байкал — уникальный объект, который можно рассматривать как одну из самых драгоценных частей природного богатства планеты. Эта книга подводит итог многолетних исследований автора и сотрудников Байкальского института рационального природопользования СО РАН, где ведется разработка различных фундаментальных и прикладных заданий, объединенных общей идеей устойчивого развития Байкальского региона.

Основные результаты отражены в Комплексной программе по обеспечению охраны природы и рационального использования природных ресурсов бассейна оз.Байкал. Это одна из первых попыток разработать теорию и практику устойчивого развития региона. На примере ситуации этого региона автор доказывает, что грозящей миру экологической катастрофы можно избежать только при интенсификации природоохранной деятельности. В этих условиях необходимо изменить общую стратегию общества и принять другую, которая сегодня звучит как

«sustainable development», или «устойчивое развитие». Главная цель такой стратегии, как считает автор, — равновесие между потреблением природных ресурсов и их воспроизводством.

В книге определены необходимые условия разработки стратегии устойчивого развития Байкальского региона и предложен механизм ее реализации, причем особое внимание уделено экологическому законодательству, экономическому регулированию природопользования, финансовому обеспечению природоохранительных работ. Автор разрабатывает модель адаптивного природопользования на основе экологобезопасных и наукоемких технологий (с учетом специфики традиционного хозяйствования). Предложены приоритеты успешного взаимодействия системы «человек—природа» в Байкальском регионе как

мировой модельной территории устойчивого развития.

История науки

Ю.И.Полянский. ГОДЫ ПРОЖИТЫЕ. ВОСПОМИНАНИЯ БИОЛОГА. СПб.: Наука, 1997. 255 с. (Сер. Наука. Мирозозрение. Жизнь.)

Автор этих мемуаров скончался 26 июня 1993 г. на 90-м году жизни.

Юрий Иванович Полянский (1904—1993) — заслуженный деятель науки, профессор, член-корреспондент РАН, один из выдающихся отечественных биологов, ученый с широким мировым признанием, глава и старейшина протозоологов бывшего СССР. Перу Юрия Ивановича принадлежит более 300 научных работ, в том числе целый ряд крупных фундаментальных тру-

дов по проблемам зоологии, паразитологии, цитологии, экологии, эволюционного учения. Последние годы своей жизни Полянский посвятил написанию мемуаров, опубликованных в виде книги.

Книга охватывает события от периода первой мировой войны до наших дней. Автор выступает как их свидетель, а подчас и активный участник, особенно когда речь идет о судьбах биологии и преподавания ее в высшей и средней школе. Юрий Иванович подробно освещает историю появления лысенковщины и разгром биологии после сессии ВАСХНИЛ 1948 г.

Написанная в форме рассказа о личной жизни, книга знакомит читателя с целым пластом нашей истории. Особый интерес представляют фотографии из личного архива автора.

КОРОТКО

Экология

Перец против слонов

Население многих районов Азии и Африки к вредителям полей относит не только насекомых, грызунов и птиц, но и слонов. Действительно, эти растительноядные гиганты охотно питаются сельскохозяйственной продукцией, вытаптывая посевы; убытки при этом ежегодно измеряются миллионами долларов. Традиционный способ отгонять животных весьма примитивен: крик, битье в барабаны, бросание камней, бывает и стрельба. Только в Зимбабве каждый год насмерть забивают сотню слонов. Однако все это малоэффективно, и ущерб от

слонов сельскому хозяйству не сокращается.

Новый способ предложил английский зоолог Л.Осборн (L.Osborn; Кембриджский университет), положив в его основу изобретение конструктора Дж.Бирочака (J.Birochak) из Пенсильвании, которое помогает разогнать медведей гризли путем опрыскивания местности жидкостью, содержащей красный перец.

В распылитель заливается смесь острейшего перца чилли с растительным маслом. Поскольку подходит с опрыскивателем в руках к дикому животному опасно, в комплект оборудования входит нечто вроде «миномета», работающего на сжатом воздухе и способного бросить контейнер с

жидкостью на расстояние до 200 м, после чего из контейнера начинает фонтанировать приготовленная смесь перца с маслом.

Опробование системы было проведено в одном из районов Зимбабве. Она работала отлично: ведь хобот слона, высланный изнутри слизистой оболочкой, — один из наиболее чувствительных органов обоняния в зверином мире. Во время испытаний слоны сначала останавливались как вкопанные, а затем, трубно «высморкавшись», быстро ретировались.

Постоянного вреда животным перец чилли не причиняет.

New Scientist. 1997. V.154. № 2078. P.25 (Великобритания).

Спутниковая навигация в действии

Широко применяемая на Западе спутниковая навигационная система GPS (Global Positioning System — глобальная система позиционирования) доступна не только официальным ведомствам, компаниям и научным организациям, но и всем, кто хочет знать точные координаты своего местонахождения, маршрут и скорость в пути. Так что же такое глобальная система позиционирования? Как она организована, какими возможностями располагает и насколько точно позволяет определять местоположение объектов в любой точке планеты?

В журнале «Природа» уже появлялись сообщения об использовании глобальной системы позиционирования (Global Positioning System — GPS), позволяющей оперативно и с высокой точностью определять координаты точек земной поверхности¹. Знание местоположения, т.е. широты, долготы и высоты над поверхностью геоида, необходимо для решения многих задач геофизики, океанологии, климатологии. Однако основное предназначение системы GPS — навигация. Традиционное ориентирование по звездам дает погрешность в определении местонахождения в лучшем случае ~1 км и требует проведения тщательных угловых измерений в ночное время при ясном небе. Ранее для координирования судов была разработана система LORAN — цепочка береговых радиостанций. Она весьма эффективна в прибрежных водах, но не перекрывает большую часть земной поверхности, а ее точность зависит от условий распространения радиоволн. Спутниковая радиоволновая система TRANSIT построена на основе доплеровских измерений, поэтому дает значительные ошибки при определении координат движущихся объектов. Кроме того, спутники этой системы расположены на очень низких орбитах и их немного,

так что непрерывное позиционирование невозможно.

Вероятно, многим покажется удивительным, что и в 80-е годы 20-го столетия такая, казалось бы, простая задача: где находится человек, куда идет и с какой скоростью — решалась несовершенными средствами и с большими погрешностями.

Военная техника, на развитие которой государства тратили порой огромные средства, прокладывала новые маршруты в необъятный мир технологии. Помимо средств уничтожения создавались и образцы, почти сразу обретающие мирные профессии. Примером тому служит и созданная спутниковая система GPS — результат усилий Министерства обороны США, направленных на разработку и реализацию глобальной системы точного определения координат целей (военных и гражданских объектов, пусковых ракетных установок, судов и т.д.). Затраченные правительством США 12 млрд долл. позволили создать созвездие из 24 высотных спутников, до известной степени заменяющих собой настоящие звезды при решении задачи позиционирования. И поскольку система разрабатывалась как военная, она исключительно устойчива, надежна и невосприимчива к естественным и искусственным помехам, обеспечивая местоопределение любой точки Земли в любой момент с погрешностью не более ширины улицы.

Теперь, когда риск глобальной ядерной конфронтации значительно снижен, систему «открыли» — она стала доступной всем пользователям, желающим с помощью специального приемника GPS быстро и точно установить свое местоположение на планете. Воистину конверсия — не пустое слово, а реальная возможность употребить военные разработки на благо цивилизации.

Какие же принципы лежат в основе этой системы?

Местоопределение по расстояниям до спутников. Координаты объекта на Земле рассчитываются процессором приемника GPS по данным, полученным в результате измерения расстояний до спутников, находящихся в поле «зрения» антенны; спутники при этом выполняют роль точно позиционированных точек отсчета. Суть расчета довольно проста: если приемник измерил дальность d_1 до спутника 1, то местоположение приемника — на сфере радиуса d_1 с центром в точке нахождения спутника. Координаты спутника в данный момент процессор выбирает из хранимого в памяти «альманаха», содержащего координаты всех спутников в каждый момент; таким образом, сфера d_1 определена. Второе измерение дает удаленность d_2 до спутника 2, ограничивая наше местоположение сферой этого радиуса, центрированной на втором спутнике. Пересече-

¹ См., напр., заметку «Термометры» на околоземной орбите // Природа. 1997. № 3. С.120.



ние двух сфер — окружность, так что после двух измерений остается лишь найти точку на ней, соответствующую искомым координатам. Для этого приемник делает третье измерение — расстояния d_3 до спутника 3. Третья сфера пересекается с окружностью в двух точках, одна из которых либо слишком удалена, либо движется с чрезмерно высокой скоростью. Путем сравнения с априорными данными процессор исключает неправдоподобное решение. Итак, если бы приемник измерял расстояния до спутников без погрешностей, было бы достаточно выполнить три измерения с последующим решением трех тригонометрических уравнений несложного вида. Но как достичь необходимой точности при измерении дальности?

Измерение расстояния до спутника. В системе GPS дальнометрия проста: спутник посылает сигнал в мо-

мент $t_{сп}$, приемник ловит его в момент $t_{пр}$. Зная скорость c распространения радиоволн, процессор рассчитывает $d = c(t_{пр} - t_{сп}) = c \cdot \Delta t$. Точность достигается при соблюдении двух условий: высокой изохронности часов спутника и приемника и их строгой синхронизации. Это — непростые требования, особенно если принять во внимание малость самого интервала Δt распространения сигнала. Например, от спутника в зените (высота орбиты 20 тыс. км) сигнал доходит до Земли за ~60 мс. Изохронность часов, установленных на спутниках, очень высока; неточность их хода имеет рекордно низкие значения — около 1 нс! Эти «часики» — дитя электронной революции, фактически атомные эталоны частоты. На каждом из 24 спутников GPS таких часов установлено по четыре (для надежности).

Проблему строгой синхронизации часов спутников

и приемников удалось решить путем организации единого системного времени для всех спутников и всех приемников. Принятый в GPS метод установления общей временной шкалы основан на корреляционном выделении из слабого зашумленного сигнала кодовой последовательности, повторяемой с частотой 1 МГц. В каждом такте комбинация двоичных нулей и единиц означает фазово-импульсную манипуляцию сигнала (0 — его отсутствие, 1 — сигнал постоянной интенсивности). Код задается специалистами и выглядит как почти случайная последовательность переключений, поэтому называется псевдослучайным. Код — секрет разработчиков, который не позволяет вторгаться в работу системы посторонним, и периодически обновляется.

Привязка кодов приемника и спутника друг к другу с целью установления единого времени осуществляется следующим образом. Процессор приемника разбивает каждый такт своего кода (опорный сигнал) на ряд равных временных интервалов; в каждом интервале он сравнивает свое значение с величиной принятого от спутника зашумленного сигнала. Специальный счетчик подсчитывает числа совпадений N_c и несовпадений N_n в значении принимаемого и опорного сигналов и находит их разность $N_c - N_n$. Поскольку обе переменные величины почти случайные, при несовпадении временных шкал среднее значение этой разности равно нулю, что означает равные вероятности для тех и других событий. Далее процессор приемника начинает сдвигать свой код относительно общей, но ему пока неизвестной шкалы

времени на интервал дискретизации, постоянно следя за разностью совпадений и несовпадений. После некоторого числа сдвигов поиск приводит к наилучшему совпадению двух последовательностей — принимаемого и опорного сигналов. Следовательно, псевдослучайное кодирование не только защита системы, но и способ весьма точного распознавания очень слабого сигнала и одновременно очень точной привязки двух временных шкал. Возможность выделения слабых сигналов описанным способом позволяет обойтись небольшими по мощности излучателями на спутниках и скромными по габаритам антеннами в приемниках². Итак, после подгонки своих часов к шкале единого времени приемник сравнивает свой код с таким же кодом, полученным от переданного ранее дальномерного сигнала спутника. Запаздывание принятого кода и будет интервалом Δt распространения сигнала.

Обеспечение идеальной привязки во времени. Третья проблема связана с невозможностью установки в приемниках (из-за дороговизны) столь же точных часов, что и на спутниках. Принцип ее решения прост: приемник должен сделать еще одно измерение расстояния d_4 — до четвертого спутника. Конечно, из четырех неточно определенных



расстояний (псевдодальностей) найти местоположение приемника при незнании ошибки хода собственных часов прямым способом нельзя. Зато можно поручить процессору действовать методом последовательных приближений. При первом измерении четырех дистанций окажется, что каждая пара сфер даст свою окружность со своими четырьмя точками пересечений с другой парой сфер. Набор из 24 точек (12 из них — посторонние) процессор воспринимает как несовпадение из-за неточности хода своих часов. Выполняя пошаговую коррекцию интервалов времени распространения при измерениях дальностей (а это означает сдвиг всех четырех времен на одну и ту же величину), процессор добивается того, чтобы все дальности d_1 — d_4 стали удовлетворять единственному решению для пересечения четырех сфер.

Таким образом, если три точных измерения времени распространения сигналов спутников определяют

положение точки в трехмерном пространстве, то четыре неточных позволяют исключить относительное смещение шкалы времени приемника, вызвавшее эти неточности.

Точное позиционирование спутника. Здесь выручает довольно значительная высота их орбиты. Спутники «Navstar», разработанные компанией «Rockwell International», имеют массу 860 кг, размер 5.2 м; высота их орбиты составляет 20 тыс. км, наклонение 55°, период обращения 12 ч, ресурс 7.5 года. Спутники движутся вне земной атмосферы, а значит, по стабильным орбитам, выведение на которые производится очень точно. Спутники GPS проходят над наземными контрольными станциями дважды в сутки, что дает возможность точно измерять их положение на орбите, высоту и скорость. Отклонения от предвычисленных орбит, называемые «ошибками эфемерид», обычно незначительны и вызваны притяжением Луны, Солнца и

² Такой подход не может быть применен в спутниковом радио- и телевещании, где передаются широкополосные сигналы, «перегруженные» информацией. Для них усреднение кодовой последовательности по большому числу тактов — слишком медленная процедура. Сигналы же спутников GPS содержат мало информации — только временную метку.

давлением солнечного света. Компьютеры станций слежения вносят поправки к параметрам орбит, а затем эта информация передается на спутник, заменяя собой в памяти его бортового компьютера прежнюю. Находясь в непрерывном режиме работы, спутник передает не только свои дальномерные коды, но и сообщения о новых параметрах движения, а также данные о движении остальных спутников GPS — «альманах» и другую служебную информацию.

Задержки сигналов в атмосфере. Задержка сигналов при распространении их от спутника наиболее значительна в ионосфере (высоты 50—1000 км). В нижней части атмосферы — тропосфере — задержка невелика, поэтому ее изменения, зависящие от погодных условий, незначительны. Коррекция этой неточности проводится, исходя из среднестатистических свойств тропосферы. Однако при прохождении сигнала через ионосферу такой подход мало пригоден: заряженные частицы ионосферной плазмы сильно влияют на скорость прохождения, а характеристики плазмы часто далеко отклоняются от средних значений. Было принято решение передавать дальномерные сообщения на двух

несущих частотах (1.58 и 1.23 ГГц), поскольку существует сильная зависимость скорости распространения от частоты. При двухчастотной передаче данных задержки обоих сигналов, обратно пропорциональные квадратам их частот, легко вычислить, что позволяет ввести нужную поправку.

Типичные источники ошибок при нахождении местоположения (неточность хода часов спутника, отклонения от предвычисленных орбит, погрешности приемника, задержки в атмосфере) дают суммарную (среднеквадратичную) погрешность ~5 м. Однако реальная ошибка в определении координат больше примерно в 4—6 раз, что учитывается так называемым геометрическим фактором. Эта погрешность зачастую вызвана неудачным расположением двух спутников, когда антенна приемника «видит» их близко расположенными. В таком случае пересечение двух сфер, размытых из-за неточностей в определении дальностей, представляет собой широкое кольцо, что и порождает значительную ошибку позиционирования. Действие геометрического фактора доводит реальную погрешность до 25—30 м.

Итак, рассмотренная спутниковая навигационная система общедоступна; вооружившись приемником того или иного класса (и соответствующей цены), вы можете с высокой точностью следить за своими координатами, перемещениями и скоростью движения. В будущем такие позиционеры получат широкое распространение, а после неизбежного снижения цен станут общедоступными и необходимыми, как телефон, телевизор, калькулятор. Со временем возможно будет каждому квадратному метру земной поверхности приписать соответствующий адрес. Это означает, что появятся совершенно новые способы организации нашей деятельности, в первую очередь это относится к транспорту, в том числе авиации. А в личном автомобиле при помощи бортового компьютера можно будет путешествовать, нанося на вызванную из его памяти карту города или любой местности точные координаты (или адреса) интересующих пунктов, прокладывать новые маршруты, оценивать расстояния, время в пути, расходы.

Можно без преувеличения сказать, что система GPS — новое достояние цивилизации.

(По материалам прессы)

Объявление

Путешественникам, геологам, яхтсменам, альпинистам, охотникам, автомобилистам! Спутниковые навигаторы

Уловив сигналы от 4—8 спутников, спутниковые навигаторы определяют ваши координаты в любом месте планеты с точностью до 30 м; вычисляют скорость движения, ожидаемое время в пути и ориентировочное время прибытия в заданный пункт; покажут направление и расстояние до заранее выбранной точки (до вашего дома или оставленной в лесу машины); запомнят координаты 200 выбранных вами точек. Масса от 250 г. Цена от 1800 тыс. руб.

Фирма «МАКОН». Тел. (095) 287-11-12, 216-68-14, 216-57-49.

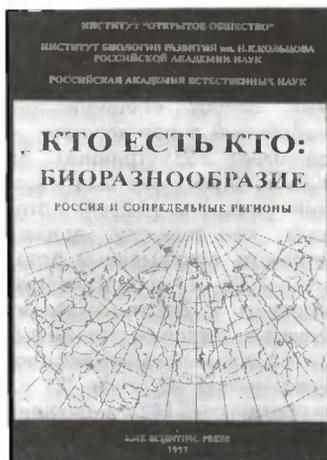
Всем, кто изучает биоразнообразие

В. Н. Танасийчук,
доктор биологических наук
Санкт-Петербург

МНОГИЕ помнят публичные высказывания разных лиц, содержащие подозрения в адрес Джорджа Сороса и его фондов, которые будто бы ведут разведывательную деятельность в отношении работы российских ученых. Сейчас желающие могут разобраться в том, о какого рода «секретах» шла речь. Материалы архивов экспертных комиссий Фонда Дж.Сороса «Биоразнообразие» (дополненные материалами из картотек научных обществ) опубликованы в виде справочника «Кто есть кто: Биоразнообразие. Россия и сопредельные регионы».

В справочнике изложены сведения о 8715 зоологах, палеонтологах, ботаниках, работниках заповедников и ученых близких специальностей, живущих в России и других республиках бывшего СССР, и даже информация о художниках, специализирующихся в области иллюстрирования флористических и фаунистических научных трудов. Такое издание впервые появилось в России. За рубежом справочники типа «Who is who» издаются ежегодно по множеству направлений.

Крайне интересна вводная часть книги, где изложена история появления Фонда «Биоразнообразие» и приводятся связанные с этим документы. И так, в 1992 г., когда средняя месячная зарплата в России упала ниже 20 долл. США и очень многие ученые и в столицах, и в провинции буквально голодали, в ряде газет появились сообщения



КТО ЕСТЬ КТО: БИОРАЗНООБРАЗИЕ. Россия и сопредельные регионы. Под ред. Н.Н.Воронцова. М.: КМК Scientific press, 1997. 674 с.

о стипендиях Фонда Сороса «Культурная инициатива». Специалисты, чья работа была связана с проблемами биоразнообразия, могли получить очень солидную по тем временам сумму — 250 долл.; нужно было только заполнить и отослать анкету.

Через несколько месяцев было присуждено 2120 стипендий Сороса; в 1993 г. эта сумма возросла вдвое, и тогда же был объявлен дополнительный конкурс на 1880 стипендий второго тура. Победителями конкурса по первому и второму турам стали 4012 из 6924 участников. Третий этап конкурса, проведенный в 1996 г., дал возможность получить стипендию еще 300 специалистам, работающим в заповедниках и отдаленных стационарах, а также ученым Молдавии, из-за гражданской войны не имевшим возможности подать заявки на первые два тура.

В итоге помощью Фонда Сороса были охвачены биологи всех республик бывшего СССР, и это стало, без преувеличения, громадным подспорьем для них.

Необходимо добавить, что Фонд оказал также поддержку ушедшим на пенсию биологам. Продолжая работать дома (или даже в Домах престарелых), многие из них владели почти нищенское существование. Соросовская стипендия очень поддержала наших пожилых коллег.

Этим событиями предшествовала встреча знаменитого финансиста и мецената Дж.Сороса с зоологом Н.Н.Воронцовым, в то время народным депутатом РСФСР, позднее членом Государственной Думы и председателем ее подкомитета по науке.

Когда Дж.Сорос выразил готовность оказать помощь представителям науки, на долю Н.Н.Воронцова выпала миссия объяснить ему, что в первую очередь ее целесообразно адресовать представителям «штучных» специальностей, в которых особенно важно сохранить преемственность поколений, в частности специалистам по изучению биологического разнообразия. Возникший недавно термин «биоразнообразие» стал ключевым в биологических дисциплинах; устойчивость биосферы (а стало быть, и человечества) напрямую зависит от устойчивости слагающих ее экосистем, которая в свою очередь зависит от сохранения биологического разнообразия. Таким образом, изучение биоразнообразия и путей его сохранения становится ключевой проблемой биологической

кой науки, над которой работают ботаники и зоологи, и прежде всего те, интересы которых связаны с систематикой и экологией.

Дж. Сорос согласился с этими доводами, но был озабочен проблемой распределения стипендий и грантов. Государственным структурам он не доверял, и не без основания. Н.Н.Воронцов предложил распределять деньги через Российскую академию естественных наук, и спустя несколько дней был получен первый из 100 млн долл., выделенных «Культурной инициативой» для поддержки науки бывшего СССР. Позднее Дж. Сорос увеличил финансирование Фонда «Биоразнообразия» более чем до 2 млн долл.

Обширный массив заявок на стипендии послужил не только для распределения денег — он лег в основу крайне необходимого справочника.

Анкеты, заполнявшиеся участниками конкурса, содержали краткие сведения о соискателе — фамилию, имя, отчество в русской и латинской транскрипциях, дату и место рождения, данные о высшем образовании и аспирантуре, направление исследований, краткий послужной список, премии и стипендии, число научных работ, основные публикации, участие в редколлегиях, сведения о сохраняемых коллекциях, домашний и служебный адреса, телефоны, а также планы работ на ближайший год.

Большая часть этих сведений, сокращенных до 10—12 строк, вошла в справочник. В нем учтены 6916 заявок, полученных по Фонду «Биоразнообразия»; они были дополнены материалами конкурса 1996 г. Из картотек научных обществ (Ботанического, Териологического и др.) были извлечены сведения о тех специалистах, которые не участвовали в кон-

курсах. Данные эти, как правило, более скудны: указываются только фамилия, имя, отчество, адрес и направление исследований.

Вспомогательная часть справочника включает, в частности, полные названия и адреса институтов и других учреждений, упоминаемых в тексте. Основная — алфавитный список специалистов, набранный в две колонки, — занимает 563 страницы. За ним следуют: систематический указатель (44 с.), который по замыслу должен отражать современные ботаническую и зоологическую системы и давать названия крупных таксонов, изучаемых перечисленными учеными; географический указатель (21 с.) и предметный (42 с.), дающий представление о специализации ученых. Все указатели — на разноцветных страницах, что облегчает работу с ними и украшает книгу. По оформлению она ничем не отличается от зарубежных справочников «Who is Who».

Об основном недостатке книги пишет сам главный редактор во вводной части. Она неполна, что объясняется многими причинами и в их числе чисто «совковым» обстоятельством: «В ряде периферийных институтов их директора старались положить информацию под сукно и стремились определить сами, кому из их сотрудников следует, а кому не следует подавать на конкурс». С другой стороны, «многие ученые академического ранга не участвовали в конкурсе, уступая свои места менее титулованным ученым. Крайне неравномерно распределялись заявки из разных регионов бывшего СССР <...> несомненно, что в Латвии проблемой биоразнообразия занимается не три специалиста. В старейшем научном центре — Казани есть немало специалистов по биоразнообразию, но в конкурсе 1992—1994 г. Татария получила только один грант (с.8)».

Неполнота справочника выражается не только в том, что в нем перечислены не все специалисты, занимающиеся этой проблемой. Наиболее слабой частью оказался систематический указатель. По некоторым таксонам использована устаревшая система, а по ряду групп в этот указатель попали лишь те таксоны, латинские названия которых оказались в компьютерной базе данных. Часто специалист не значится по какой-то группе, если в его анкете эта группа не названа по-латыни. Например, в типе *Cnidaria* (с.588), по которому работают, как минимум, около 60 человек, значатся всего две персоны: хранитель коллекций и специалист, работающих в основном в области экологии моллюсков... Среди малакологов моллюсками класса *Loricata* занимается лишь один человек — Б.И.Сиренко, но именно его имя и отсутствует под шапкой этого класса (с.592—593)! Зато здесь помещается более 70 фамилий, никакого отношения к изучению *Loricata* не имеющих... При предполагаемом переиздании справочника на английском языке следует, видимо, не ограничиваться информацией из компьютерной базы данных — в этом случае редколлегиям следует заручиться консультациями специалистов по каждой из групп системы.

Перечисленные недостатки, конечно, досадны, но это не умаляет фундаментального значения всего справочника. Авторский коллектив во главе с Н.Н.Воронцовым можно поздравить с выходом ценного издания, способствующего развитию научных связей, установлению новых контактов, а следовательно — дальнейшему прогрессу наук, изучающих биоразнообразие.

«Русский парижанин» Г.Н.Вырубов

Г. И. Любина,

кандидат исторических наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова
Москва

ГРИГОРИЯ Николаевича Вырубова (1843—1913), естествоиспытателя и философа-позитивиста, можно отнести к забытым фигурам. Высказанные после его кончины пожелания К.А.Тимирязева и социолога Е.В. де Роберти, чтобы в России уделили внимание творческому наследию этого незаурядного человека, так и не были услышаны.

Причин невнимания к Вырубову со стороны советских историков несколько. Как ученый и философ он не был звездой первой величины, подобно своим соотечественникам, также парижским эмигрантам, И.И.Мечникову, П.Л.Лаврову, И.Ф.Циону. Все без исключения научные и философские работы Вырубова и даже те, что публиковались в русских научных журналах, написаны по-французски. И, наконец, по меркам недавнего времени Вырубова нельзя было отнести к числу «передовых мыслителей».

При самом пристрастном отношении к Вырубову ему нельзя отказать в оригинальности. И судьба у него необычная. Выходец из старинной дворянской семьи, он рано потерял отца, но был окружен нежными заботами матери и близких родственников. Слабое здоровье — повод для частых поездок с детскими лет в европейские страны, но не помеха для приобретения блестящего

образования. Воспитывался он у частных преподавателей и в элитных учебных заведениях: сначала это был лицей Кондорсе в Париже, потом — Александровский (Царскосельский) лицей. Затем учился на математическом и естественном факультетах Московского университета, далее следовали занятия медицинской и естественными науками в Париже и Берлине. К 23 годам Вырубов окончательно переселился во Францию.

Судьбы многих наших эмигрантов показывают, как тяжело вживается русский человек в чуждую ему культурную среду. С Вырубовым этого не случилось. Он приобщился к условиям западной жизни в очень раннем возрасте, а главное — по складу ума, привычкам, пристрастиям и антипатиям сложился как человек западной культуры. Глубокую неприязнь у него вызывали профессиональная некомпетентность, невежество, расхлябанность, необязательность, бестактность, мотовство. Рассуждая об устройстве общественной жизни, он искал, как убежденный рационалист, пути достижения возможно большего эффекта малыми средствами и в наиболее короткие сроки, писал о необходимости бережного отношения к жизни сограждан, призывал разумно эксплуатировать природные богатства, указывал на важность элитарной подготовки для высшего эшелона государственной администрации. Ему претило рос-

сийское «шапкозакидательство», сыгравшее, как он считал, роковую роль в русско-турецкой войне 1873—1876 гг.

Вырубов высоко ценил свободу творчества с такими ее гарантиями, как частная собственность и личная независимость. Последняя, в его представлении, включала свободу вероисповедания, волеизъявления и выражения мысли. При этом Вырубов вносил существенную оговорку: свобода плодотворна лишь в образованном обществе, где мерой поведения каждого становится терпимость. Для дикарей свобода пагубна, крайнее ее выражение — все тот же деспотизм. Идеалом политического правления для Вырубова была децентрализованная республика, устроенная на началах федерализма и миролюбивой внешней политики, в противоположность империи с ее унитаризмом и милитаризмом.

Однако пацифистские настроения не помешали Вырубову служить в качестве волонтера французского Красного Креста во время осады Парижа и Парижской коммуны. За это он получил от французского правительства орден Почетного легиона и право называться с 1889 г. гражданином Франции. Подобную услугу, отмеченную орденом Св.Владимира, он оказал России во время русско-турецкой войны, когда несколько месяцев возглавлял медицинскую службу на границе в районе Карса.

Вырубов предостерегал от безбрежного господства большинства. В укоренении массовой, т.е. усредненной, культуры он видел угрозу распространения посредственности. Характерно в этом смысле его понимание демократии. «Демократия, — писал он, — заключается не в понижении высших слоев, а в повышении низших».

В жизни Западной Европы его привлекало относительное социальное равновесие. Он полагал, что для Европы эпоха отрицания отошла в прошлое вместе с потрясениями Великой французской революции. Парижская коммуна, как ему представлялось, оказалась слепым подражанием революции 1789 г. и к тому же недоразумением, ибо поводов для гражданской войны (именно так оценивал он Коммуну) во Франции того времени не было. Напротив, он усматривал все предпосылки для гражданского мира, для удовлетворения законных и естественных требований пролетариата, к каковым относил равные гражданские права, свободу ассоциаций и организаций, улучшение условий труда, просвещение трудящихся и т.п.

Вырубов решительно воспротивился, когда Герцен зачислил его в одну компанию с Бакуниным и нигилистами, и в опровержении, напечатанном в 14-м номере «Колокола», он заявил, что принадлежит не к отрицательной, а к органической доктрине. Еще в молодые годы им был сделан выбор в пользу созидания, а не разрушения. Он всегда отказывался от участия в заговорах и конспирациях, чем навлекал упреки Бакунина. Герцен ставил ему в вину, что он галлолюб, не привязан к России, а главное — слишком пре-

дан философии позитивизма. Он писал Вырубому: «Вы приняли — простите мне это выражение — схиму известной доктрины, вы носите ее цвета с тем рвением раскольника, которое дает силу проповеди и вместе с тем умаляет личную независимость». Герцен сетовал: «А мне жаль, что вы отняли свои силы от России».

Неприятие идей революционной демократии не мешало Вырубому дружить и с Герценом, и с Бакуниным, и с Лавровым. Все, кто знал Вырубова, отмечает его исключительную порядочность, принципиальность и прямоту, но вместе с тем умение в личных отношениях оставлять в стороне идейные разногласия. Лавров обращался к Вырубому, когда нужно было вывозить русских эмигрантов, попавших на заметку французской полиции, или собрать средства для нуждающихся соотечественников. Вырубов помогал охотно. Он пытался оказывать материальные услуги и своему новому отечеству — давал деньги на устройство бесплатных школ в Париже, на поддержку бедствующих провинциальных журналов. Парижский дом Вырубова был всегда открыт для русских путешественников. Здесь подолгу гостили писатель П.Д.Боборыкин, друзья по Александровскому лицей — ботаник П.Н.Петунников, философ Е.В. де Роберти. В 70—80-е годы на семейных обедах у Вырубова бывали Лавров, И.С.Тургенев, М.М.Ковалевский, географ Н.В.Ханыков. Гостеприимство Вырубова было искренним и неброским. Как писал многолетний друг его генерал Журди, наградой ему было скорее внутреннее удовлетворение от добрых дел, чем знаки



Григорий Николаевич Вырубов.

внешнего признания.

В 1866—1869 гг. Герцен много общался с Вырубовым, несмотря на стычки, связанные с разностью взглядов на историческую роль сельской общины в России. Вырубов неотлучно находился у постели умирающего Герцена. Вместе с Н.А.Тучковой-Огаревой он осуществил первое издание сочинений Герцена в Женеве в 1865—1879 гг., он был редактором этого издания и автором вступительной статьи. Характерно, что более всего он ценил в Герцене «художника свободной мысли» и был уверен, что эмиграция сослужила Герцену, как и Лаврову, дурную службу. Она сделала их против воли и темперамента политиками. Сопrotивление «природному издавна устроению вещей» он считал бесплодным занятием.

Вырубов навсегда сохранил благодарность покинутому отечеству за полученное здесь образование, за независимость, которую даровало емужитое предками немалое состояние. Он много писал о России. Согласно заповедям

позитивизма и чтоб избежать упреков в эмигрантской озлобленности, он пытался сохранить в своих очерках отстраненный тон. Это ему плохо удавалось, большая часть его рассуждений проникнута горечью. Впрочем, признавая неизбежность многих бед для России, никого в них не винил.

В его заметках о прошлом, настоящем и будущем России много тонких наблюдений и даже провидческих мыслей, которые заставляют вспомнить философские письма Чаадаева. Никому бы не пришло в голову назвать Вырубова безумцем, но в отсутствии патриотизма его обвиняли многие. Заметки Вырубова о России до сих пор еще дают пищу для размышлений. Но это предмет особого разговора.

Он неоднократно высказывал неприязнь к описательности в науке. Именно такого рода упреки адресовал он столь авторитетным естествоиспытателям своего времени, как А.П.Богданов, Г.Е.Щуровский, А.О.Ковалевский. Ему казалось, что позитивизм дает ключ к систематизации научных фактов. С философией О.Конта, достаточно популярной в России, Вырубов познакомился еще в 1860 г. на лекциях Помье, ученика Конта, преподавателя французской литературы в Александровском лицее. В 1867 г. вместе с Э.Литтре, также учеником Конта, Вырубов стал издавать в Париже «Журнал позитивной философии», которому посвятил, как писал Тимирязев, «молодые силы и далеко не обыкновенные способности».

Литтре, известный философ, историк медицины, автор знаменитого «Словаря французского языка», дал

журналу имя, помещал в нем свои статьи и критические заметки. Основная тяжесть организационной и редакторской работы пала на Вырубова, он же финансировал издание. Литтре познакомил Вырубова с блестящими умами Франции Э.Ренаном и И.Тэнном, ввел в 1875 г. своего молодого друга в масонскую ложу Парижа, где в скором времени Вырубов занял третье место в иерархии руководителей. Ему открылся доступ в круг влиятельных литераторов и политических деятелей Франции.

«Журнал позитивной философии» сразу же обратил на себя внимание читателей. Тургенев одним из первых подписался на него и с любопытством спрашивал у Герцена, что он знает о Вырубове. Герцен одобрял идею журнала и даже напечатал его программу в «Колоколе». Соотнося задачи нового издания с нуждами России, где необходимо формирование «современного слоя граждан», он считал, что позитивисты делают полезную работу, и это дает основание назвать их «фалангой будущего». Журнал привлек не только читателей учения Конта. В нем сошлись представители всех областей знания: естествоиспытатели, философы, методологи и историки науки, гражданские историки, политэкономы, социологи, психологи, педагоги и др. Широко обсуждались самые злободневные вопросы: внутренняя и внешняя политика, экономика и методы практического хозяйствования, социальные отношения, литература, искусство. Исключительным вниманием пользовались проблемы образования.

Публикации Вырубова составили костяк журнала. Их было много — по различ-

ным вопросам философии, по методологии науки. Он написал серию статей о России, критических заметок о работах философов разных стран, о зарубежных книгах по русской тематике и др.

Литтре и Вырубов приложили позитивный метод ко многим явлениям, едва затронутым Контом. Философия Конта получила на страницах журнала новое развитие и истолкование. Большую услугу распространению позитивизма они оказали и тем, что перевели «утомительно-длинно-парантезно-доктринерский слог учителя», по определению Герцена, на удобоваримый язык. Герцен своему сыну, увлекшемуся позитивизмом, рекомендовал читать Литтре и Вырубова, а не самого Конта.

В 1884 г., уже после смерти Литтре, журнал закрылся. Вырубов и Ш.Робен, заменивший Литтре, объявили, что миссия журнала выполнена. Позитивизм как философское учение и как достойная практической политики распространился по всей Европе.

Между тем с первых лет пребывания в Париже Вырубов готовил себя к научному поприщу. В организации занятий он был верен рационалистической доктрине. Работал по заранее составленному плану, что позволило ему в сравнительно короткий срок усвоить достаточно много. Своей основной научной специальностью считал минералогию, а себя в письме к А.И.Урусову называл «скромным деятелем, занятым раскапыванием маленького уголка обширной области науки». Со свойственной ему обстоятельностью Вырубов всесторонне подготовил себя к исследованиям.

Он занимался в Париже практической геологией. В Ботаническом саду позна-

комился с «романтическими личностями» — геологом Г.Добре, зоологом А.Мильн-Эдвардсом и одним «из глубокосимпатичнейших типов отживающего поколения» А.Катрфажем.

Занятиями Вырубова практической кристаллографией, иногда по семи часов кряду, руководили Добре и хранитель коллекции в Горной школе Ш.Фридель. Они предоставили в распоряжение молодого ученого необходимые инструменты. На квартире у Вырубова была своя небольшая лаборатория. Из нее вышло много работ по минералогии, химии, кристаллографии и физической химии. Здесь временами проводили свои исследования Петунников, кристаллограф А.А.Байков, сюда навещались Каблуков и Тимирязев.

Вырубов написал учебник по кристаллографии (1889), выдержавший несколько изданий, ряд работ по изоморфизму, дал кристаллографическое описание новых комплексных солей платины. Увлекался мине-

ральной химией. В этой области сотрудничал с Ф.Вернейлем (изобретателем метода промышленного производства корунда и рубина, автором многих работ по керамике). Наградой Вырубову стал приз Лакказ, один из наиболее престижных в Парижской академии наук.

В 1886 г. Вырубов защитил в Сорбонне диссертацию доктора химии и минералогии. Его научные мемуары, опубликованные во французской научной периодике, насчитываются сотнями. Все свои изыскания он проводил на собственные средства. В научных обществах Парижа, минералогическом (с 1891 г. он — президент этого общества) и химическом, выступал часто, вызывая иногда шумные дискуссии. Он не боялся скрестить шпагу с крупными авторитетами в науке. Его оппонентами были Ш.Фридель, Л.Пастер.

Вырубов не принимал многих идей Пастера, в частности спорил с ним о природе брожения и по

вопросам кристаллизации оптически активных веществ из растворов. Но камнем преткновения был критический взгляд Пастера на философию позитивизма.

Вырубов был противником ионной теории. Проповедовал идеи дискретности в химии и возражал против использования в ней математического анализа. Концепция дискретности пронизывала и его теорию о структуре материи.

В последние годы жизни он читал курс лекций по всеобщей истории науки в Коллеж де Франс. Следом за Контом и Литтре он способствовал становлению истории науки как научной дисциплины. На страницах «Журнала позитивной философии» Вырубов последовательно проводил мысль о необходимости введения в преподавание этого предмета. Благодаря настойчивости позитивистов в Коллеж де Франс была создана кафедра истории науки. Это оказалось одной из наиболее крупных заслуг позитивистов перед наукой.

Над номером работали
Ответственный секретарь
Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы
И.Н.АРУТЮНЯН
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
Ж.Г.ВАСИЛЕНКО
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
Л.А.ПАРШИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Компьютерный набор
Е.Е.ЖУКОВА

Перевод
П.А.ХОМЯКОВ

Корректоры
Л.М. ФЕДОРОВА
Р.С.ШАЙМАРДАНОВА

В художественном оформлении
номера принимал участие
М.В.ИВАНОВСКИЙ

Издательство «Наука» РАН

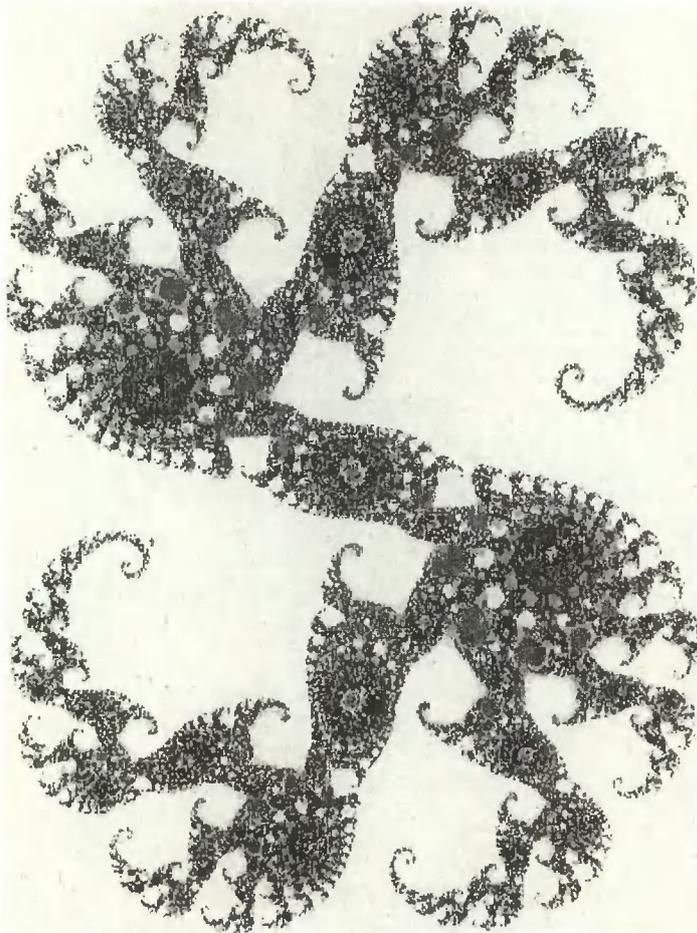
Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-23-33
Факс: (095) 238-26-33
Справки:
\http:\\www.ripen.net\\infomag

Подписано в печать 24.12.97.
Бумага типографская № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Заказ 2342

Ордена Трудового Красного
Знамени Чеховский
полиграфический комбинат
Комитета Российской
Федерации по печати
142300, г. Чехов
Московской области
Тел.: (272) 71-336

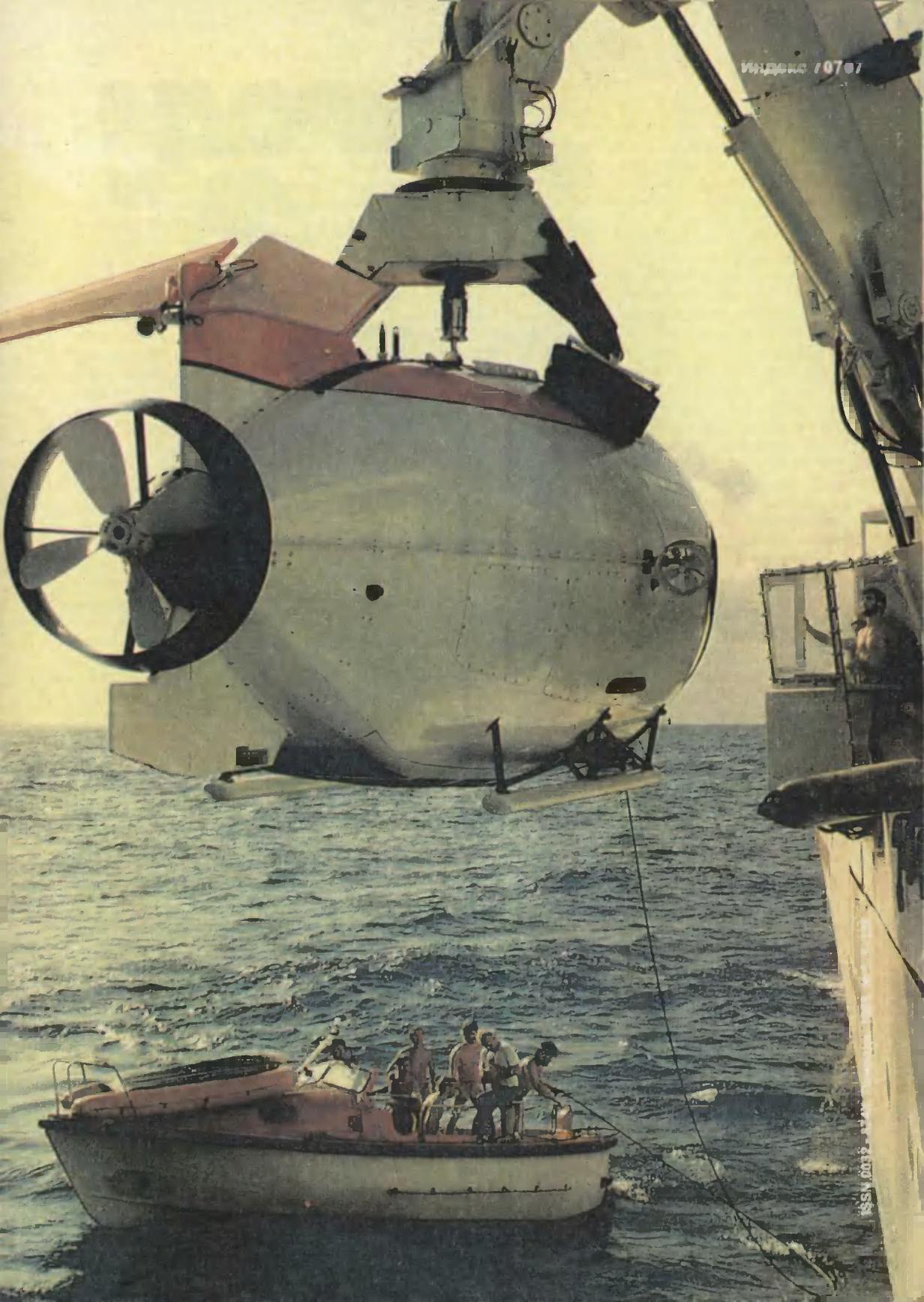
ПРИРОДА

2⁹⁸



Сегодня вряд ли найдется человек, занимающийся или интересующийся наукой, который не слышал бы о фракталах. При упоминании о них представляешь великолепные, граничащие с произведениями искусства изображения различных фрактальных множеств, напоминающие то дерево или кустарник, то трещины на асфальте или морозные узоры на окне, то острова в океане или облака на небе. Группа ученых из Казани демонстрирует возможности использования фрактальной геометрии для описания природных объектов и намечает пути развития этой интенсивно развивающейся области, синтезирующей идеи абстрактных и естественных наук.

Нигматуллин Р. Р., Овчинников М. Н., Рябов Я. Е. УЗОРНЫЙ МИР ФРАКТАЛОВ



Индекс 10701

ISSN 0013-1171