

ISSN 0032-874X

# ПРИРОДА

2 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.ФАДДЕЕВ (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 СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.  
Фрактальное множество Мандельброта.  
См. в номере: **Нигматуллин Р.Р.,  
Овчинников М.Н., Рябов Я.Е.** Фракталы: от  
уровней к движению

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.  
Кромка пемзового обрыва Кутхины баты  
— излюбленное место ночевки зимующих  
хищных птиц. См. в номере: **Ладьгина О.Н.,  
Ладьгин А.В.** С кем рыбачил великан Кутху.

Фото авторов



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук,  
журнал «Природа», 1998

## В НОМЕРЕ

**3 Бялко А.В.**  
КЛИМАТ, КРИЗИСЫ, КИОТСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**6 Богданов Н.А., Басов И.А.**  
ПРОГРАММА НАУЧНОГО БУРЕ-  
НИЯ В АРКТИКЕ

Геологические исследования в арктическом бассейне с помощью глубоководного бурения требуют совершенно нового подхода для их реализации и разработки нетрадиционных технологий.

**16 Бровко Л.Ю., Угарова Н.Н.**  
ТАЙНЫ И ЗАГАДКИ «ЖИВОГО»  
СВЕТА

Еще 3000 лет назад в китайских книгах были описаны светящиеся организмы. Но чем обусловлено холодное свечение, стало понятно только в конце XX в. Теперь известны и участники сложной химической реакции, которая завершается испусканием света, и ее механизм.

**26 Соколов А.С., Фролов А.А.**  
ИСТОРИКО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ  
СВЯЗЬ АПАТИТОВ И ФОСФОРИ-  
ТОВ

Эндогенный источник фосфора — единственный для образования апатитовых руд, а вот его роль в формировании древних фосфоритов гораздо значительнее, чем это обычно трактуется.

**37 ОЧЕРКИ НАТУРАЛИСТА**  
**Ладыгина О.Н., Ладыгин А.В.**  
С КЕМ РЫБАЧИЛ ВЕЛИКАН  
КУТХУ

На берегах одной из речек, что течет на юге Камчатки, во время рунного хода лососей разыгрываются удивительные пиршественные сцены. Множество разных птиц добывает себе пропитание кто как может: охотятся, пиратствуют, а то и подбирают крохи с барского стола главного добытчика нерки — стеллерова орлана.

**48 Березкин Ю.Е.**  
КАКАЯ РЕАЛЬНОСТЬ СОКРЫТА В  
МИФАХ?

Компьютерная обработка тысяч мифологических текстов, записанных в Южной, Центральной и некоторых областях Северной Америки, раскрывает степень сходства между мифами индейских племен и позволяет реконструировать главные миграционные потоки. Картина подобных взаимосвязей может отражать ситуацию, возникшую еще в ходе первоначального заселения Нового Света.

**61 Нигматуллин Р.Р., Овчинников М.Н., Рябов Я.Е.**

ФРАКТАЛЫ: ОТ УЗОРОВ К ДВИ-  
ЖЕНИЮ

Возникнув из нелинейных уравнений абстрактной математики, эти структуры обнаружили удивительное сходство с творениями Природы. Их движение побуждает нас вспомнить о дробном дифференциальном исчислении. Все это — фракталы.

**72 ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ**  
**Гебрук А.В.**

«ГОРЯЧИЕ НОВОСТИ» С ГОРЯ-  
ЧИХ ПОДВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ  
АТЛАНТИКИ

**76 Бреус Т.К.**  
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СОЛ-  
НЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Что «заводит» биологические часы? Специалисты, занимающиеся этой проблемой, полагают, что эту функцию выполняет солнечная активность, формирующая электромагнитную «погоду» на Земле.

**89 ЛЕКТОРИЙ**  
**Гиляров А.М.**  
ЭКОЛОГИЯ, ОБРЕТАЮЩАЯ СТА-  
ТУС НАУКИ

Слово «экология», пущенное в обиход Эрнстом Геккелем в 1866 г., на рубеже веков было известно горстке специалистов. Теперь оно стало знаменем времени. Какие сюжеты сформировали эту историю?

**100 НОВОСТИ НАУКИ (24)**

КОРОТКО (15, 60)

**116 РЕЦЕНЗИИ**  
**Полян П.М.**  
О РОССИИ И СОВЕТСКОМ  
СОЮЗЕ — С ЛЮБОВЬЮ И  
ЗНАНИЕМ ДЕЛА

**118 ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ**  
**Корякин В.С.**  
«СТАХАНОВСКИЙ» ДРЕЙФ

**127 НОВЫЕ КНИГИ**

## CONTENTS

- 3 Byalko A.V.**  
CLIMATE, CRISES, KYOTO CONFERENCE

- 6 Bogdanov N.A. and Basov I.A.**  
DEEP-SEA DRILLING PROGRAM IN THE ARCTIC

*Geological investigations in the Arctic Ocean based on deep drilling require an entirely new approach and unconventional technologies.*

- 16 Brovko L.Yu. and Ugarova N.N.**  
MYSTERIES AND PUZZLES OF «LIVING» LIGHT

*Although light-emitting organisms were described in Chinese books as early as 3000 years ago, it was only in the late 20th century that the causes of bioluminescence were understood. Now we also know the components and mechanism of the complex chemical reaction that results in the emission of light.*

- 26 Sokolov A.S. and Frolov A.A.**  
HISTORIC-GENETIC RELATIONSHIP BETWEEN APATITES AND PHOSPHORITES

*It is well known that all phosphorus in apatite ores is endogenic. Now it has been found that the role of endogenic phosphorus in the formation of ancient phosphorites is much more significant than previously thought.*

- 37 ESSAYS ON WILDLIFE**  
**Ladygina O.N. and Ladygin A.V.**  
WHO WAS THE FISHING COMPANION OF GIANT KUTKHU

*On the banks of a South Kamchatka river, amazing scenes of feast are played out when salmon shoals swim by. A whole host of various birds procure their food in whatever way they can: some engage in piracy, some hunt, and some pick up crumbs left by a sea eagle — the principal hunter for the red salmon.*

- 48 Berezkin Yu.E.**  
WHAT REALITY IS HIDDEN IN MYTHS

*By processing on a computer thousands of mythological texts recorded in South, Central, and (some regions of) North America, it was possible to disclose the similarity between the myths of Indian tribes and reconstruct the*

*main migratory currents. The picture that emerges may document the time when the New World was being settled for the first time.*

- 61 Nigmatullin R.R., Ovchinnikov M.N. and Ryabov Ya.E.**  
FRACTALS: FROM PATTERNS TO MOVEMENT

*Having originated from nonlinear equations of abstract mathematics, fractals exhibited a striking similarity to nature's creations. Their movement evokes analogies with fractional differential calculus.*

- 72 NEWS FROM EXPEDITIONS**  
**Gebruk A.V.**  
HOT NEWS FROM HOT SUBMARINE SPRINGS IN THE ATLANTIC

- 76 Breus T.K.**  
BIOLOGICAL EFFECTS OF SOLAR ACTIVITY

*What «winds up» biological clocks? Specialists believe that this function is performed by solar activity as it forms electromagnetic «weather» on Earth.*

- 89 LECTURES**  
**Gilyarov A.M.**  
ECOLOGY GAINING THE STATUS OF A SCIENCE

*The word «ecology» was introduced by Ernest Heckel as far back as 1866. Known to just a handful of specialists at the turn of the century, it has since become a household word. What stories lie behind this change?*

- 100 SCIENCE NEWS (24)**  
IN BRIEF (15, 60)

- 116 BOOK REVIEWS**  
**Polyan P.M.**  
ABOUT RUSSIA AND THE SOVIET UNION — WITH LOVE AND EXPERIENCE

- 118 ENCOUNTERS WITH THE FORGOTTEN**  
**Koryakin V.S.**  
«Stakhanovite» drift

- 127 NEW BOOKS**

# Климат, кризисы, киотская конференция

А. В. Бялко

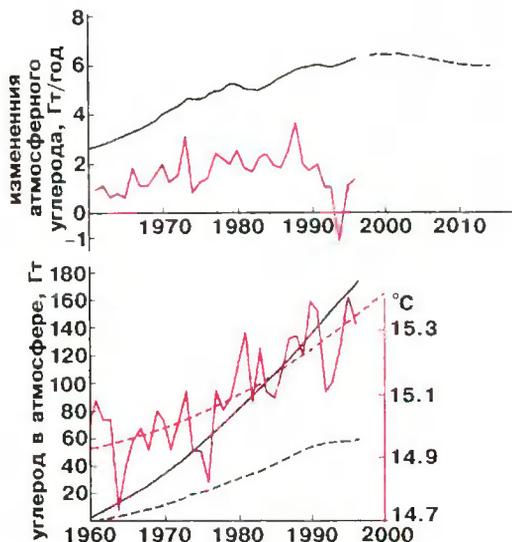
**В** НАЧАЛЕ декабря прошлого года в древней столице Японии состоялась международная конференция по климату планеты. Ее задача состояла в принятии согласованных решений о сокращении в ближайшем будущем промышленных выбросов углекислого газа  $\text{CO}_2$ , а также других парниковых составляющих атмосферы (метана, оксидов азота). Конечно, сам созыв такой конференции стал следствием того, что влияние растущего содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере на потепление климата большинством специалистов уже не подвергается сомнению. Выполнение решений конференции должно стать обязательным для всех государств мира после их ратификации парламентами большинства стран. Конференция проходила на высоком уровне (министров охраны окружающей среды), в частности, делегацию России возглавлял председатель Росгидромета А. И. Бедрицкий.

Сильно озабочены происходящим потеплением климата те многочисленные страны, у которых велика протяженность низкого океанского берега (Бангладеш, островные государства Тихого и Индийского океанов, Нидерланды). Горные ледники отступают (например, в Альпах средний уровень их нижней границы в XX в. поднялся более чем на 30 м), а талая вода повышает уровень Мирового океана, что грозит сокращением наиболее заселенной прибрежной полосы. Заметно сокращается и площадь оледенения Антарктиды, но в основном за счет шельфовых льдов, а поскольку большая часть их находится в плавающем состоянии, их таяние не ведет к повышению уровня океана. К сожалению, прямые измерения сезонно и погодно колеблющегося уровня океана недостаточно точны, чтобы уверенно

рассчитать скорость его роста, оцениваемую в 0,3—1 мм/год.

В связи с этим хочется оспорить утверждение, появляющееся даже в научных источниках: рост уровня Мирового океана при потеплении климата вызван не только таянием ледников, но и тепловым расширением океанской воды. Это — заблуждение. Фактически потепление может сказаться только на верхнем, 100—150-метровом слое океана (термоклине). Его дополнительный нагрев даже на полградуса (чего, заметим, не произошло за все предыдущие сто лет) приведет к расширению этого слоя лишь на 1 мм. Температура же основной массы океана значительно ниже поверхностной, и определяется она не состоянием атмосферы над большей частью океана, а опусканием (даунвеллингом) холодных соленых вод лишь в трех небольших областях (две из них вблизи Антарктиды и одна южнее Гренландии).

Таким способом холод как бы «заметается под ковер», в глубины океана; биосфера же планеты сосредоточена в тонком, теплом, но легко возмущаемом слое, поглощающем солнечный свет: снизу холодная масса океана, сверху холодная верхняя тропосфера. Хотя уже очевидно, что антропогенный рост концентрации парниковых газов повышает температуру земной поверхности, станет ли эта тенденция долговременным климатическим следствием, будет ясно только после выяснения сложной структуры термохалинных потоков океана. Их исследование необходимо для надежных предсказаний климата (в частности, именно от них зависит среднее тепловое расширение океана). Пока не удастся, например, понять, почему на севере Тихого океана нет области стока холодных вод, аналогичной северо-атлантической<sup>1</sup>. Поучительны в этом аспекте и геологические данные



о палеоклимате. Известно, что в прошлом Земли глобальная циркуляция вод и климат бывали существенно иными. Для понимания сегодняшних тенденций особенно интересны исследования экстремально теплого климата мелового периода (145 — 65 млн лет назад), когда концентрация атмосферного  $\text{CO}_2$  была исключительно высока<sup>2</sup>.

Какие же политические и экономические меры надо предпринять сейчас, чтобы не оставить будущим поколениям даже малого шанса очутиться на планете, необратимо скатывающейся к подобию мелового периода? Решение кажется очевидным: надо сокращать потребление угля, нефти и природного газа, развивать энергосберегающие технологии и атомную энергетику<sup>3</sup>. Но удастся ли добиться выполнения благих намерений?

Конкретные проекты сокращения выбросов парниковых газов, выдвинутые разными группами перед началом киотской конференции, отражали со-

Углерод в земной атмосфере и потепление климата.

На верхнем графике цветная ломаная линия показывает ежегодные изменения фактической массы атмосферного углерода в форме диоксида, а черная кривая его эмиссию вследствие сжигания ископаемых топлив. Ее штриховое продолжение (в следующее столетие) соответствует киотскому протоколу. Разность между черной и цветной зависимостями позволяет вычислить количество углерода, ежегодно поглощаемого фотосинтезом.

На нижнем графике даны суммарное поступление углерода в атмосферу начиная с 1960 г. (черная сплошная кривая), суммарный прирост атмосферного углерода (черная штриховая кривая). Цветом изображена зависимость средней температуры земной поверхности (отсчет по правой шкале, ломаная — годичный ход, штриховая — его параболическая интерполяция).

Источник данных: ежегодник «Vital Signs», выпускаемый World Watch Institute (CIIIA).

стояние экономик и ближайшие перспективы стран. Наиболее радикальное сокращение потребления ископаемых топлив, естественно, отстаивали многочисленные островные государства. Западная Европа в целом поддерживала умеренное сокращение промышленного выброса  $\text{CO}_2$ , приветствуя его возврат уже в первом десятилетии нового века к уровню 1990 г. или даже к более низкому уровню. Это связано с тем, что ее ведущие страны с начала 90-х годов заметно сократили загрязнение атмосферы. Великобритания закрыла малоэффективные угольные шахты, перейдя на использование нефти и газа с шельфа Северного моря, Франция уже давно полагается в основном на атомную энергетику, Германия после воссоединения добилась эффективного энергопотребления в своей восточной части. Россия по общеизвестным причинам также не возражает против 1990 г. как точки отсчета (выброс  $\text{CO}_2$  нашей страной с тех пор сократился на 33%). Япония (рост эмиссии на 12.5%) все же поддерживает решительные меры по сокращению выброса парниковых газов. Китай занял осторожную позицию, хотя его экономика в последнее время развивалась очень быстрыми темпами, и ему очевидно невыгодно возвращение потребления угля на

<sup>1</sup> Степанов В.Н. Роль океана в формировании долгопериодных колебаний климата // Природа. 1996. №10. С. 23.

<sup>2</sup> Чумаков Н.М. Теплая биосфера // Природа. 1997. №5. С.66.

<sup>3</sup> Flavin C., Dunn S. Rising Sun, gathering winds: policies to stabilize the climate and strengthen economies. World Watch Institute, 1997. Симптоматично, что в юниге, посвященной энергетической стратегии мира, нет ни слова об атомной энергии.

уровень десятилетней давности. Запасы его в Китае велики по сравнению с нефтью и газом, но сжигание угля дает наибольшее выделение  $\text{CO}_2$  при одинаковой полезной энергии. Напротив, за сохранение достигнутых уровней потребления ископаемых топлив активно выступали нефтедобывающие страны и Австралия, имеющая 10%-й прирост эмиссии диоксида углерода с начала десятилетия.

Ключевую роль в принятии решения в Киото играла позиция США, страны с ведущей экономикой в современном мире. Положение Америки внутренне противоречиво: эмиссия атмосферного углерода на душу населения лидирует в мире, но ее сельское хозяйство, вероятно, сильно пострадает при потеплении климата. После долгих колебаний США выдвинули план, по которому выброс парниковых газов к 2012—2017 гг. должен быть возвращен к уровню 1990 г., но с условием, что решения киотской конференции будут возможно пересмотрены уже на следующем таком же конгрессе через пять лет. В целом примерно такое решение и было принято в Киото. Осталось его ратифицировать и выполнить. Но позвольте выразить сомнение, что так оно и произойдет.

Если учесть, что в 1996 г. выброс Соединенными Штатами загрязняющих атмосферу газов был на 8.8% выше, чем в 1990 г., что инерция энергетической отрасли не позволяет изменить тенденцию развития за менее чем десятилетний срок, если к тому же учесть, что атомная энергетика (единственная серьезная альтернатива углеродной энергетике) сейчас в США реально не развивается, то поставленная цель выглядит для США малореальной. Поскольку предстоящие трудности переходного процесса ясны большинству участников переговоров, было предложено создать финансовый механизм регуляции киотского протокола, предусматривающий компенсации через Всемирный банк от нарушителей конвенции странам с правильной экологической политикой.

Но перед началом самой конференции и еще раз непосредственно во

время ее проведения сработал эффективный и давно действующий механизм регулирования сомнительных политических решений — разразился невиданный по глубине кризис на мировой бирже: одновременно упали в цене акции ведущих фирм, цена золота и курсы почти всех мировых валют по отношению к доллару. Конечно, причины мирового финансового кризиса многообразны: это и перегрев быстрорастущих экономик Юго-Восточной Азии, и изменение реальной стоимости золота вследствие широкого распространения нового эффективного способа его добычи<sup>4</sup>, и рекордный в этом году феномен Эль-Ниньо, участвовавший погодные аномалии<sup>5</sup>, и предстоящее введение новой европейской валюты, потенциально равной по силе доллару. Но принципиальная причина кризиса в целом та же самая, которая поставила в затруднение и участников киотской конференции: мир близок к перенаселению.

Рост численности человечества с середины XIV в. происходил по гиперболе, которая асимптотически стремилась к бесконечности около 2030 г. Сильное отклонение от этой зависимости проявилось только в середине 80-х годов нашего века<sup>6</sup>. Начался переходный период. Будет ли выход на устойчивое развитие мира главным и бесконфликтным? Маловероятно. Скорее всего народонаселение планеты достигнет своего максимума и только затем упадет до уровня 9—11 млрд человек<sup>7</sup>. И совсем невесело представлять себе мир, в котором ежегодная смертность измеряется миллиардами.

Поэтому обсуждение общемировых проблем на форумах, аналогичных завершившемуся в Киото, непосредственно касается всех нас и особенно следующего поколения.

<sup>4</sup> См. в следующем номере «Природы» статью М.М.Константинова «Революция в геологии золота».

<sup>5</sup> Бялко А.В. Климатическая неустойчивость возрастает // Природа. 1998. №1. С.88.

<sup>6</sup> Бялко А.В. Динамика послевоенного мира // Природа. 1995. №5. С.18.

<sup>7</sup> Lutz W., Sanderson W., Scherbov S. Doubling of the world population unlikely // Nature. 1997. V. 387. P. 803. Также см. Народонаселение: новые прогнозы // Природа. 1997. № 10. С. 127.

# Программа научного бурения в Арктике

Н. А. Богданов, И. А. Басов



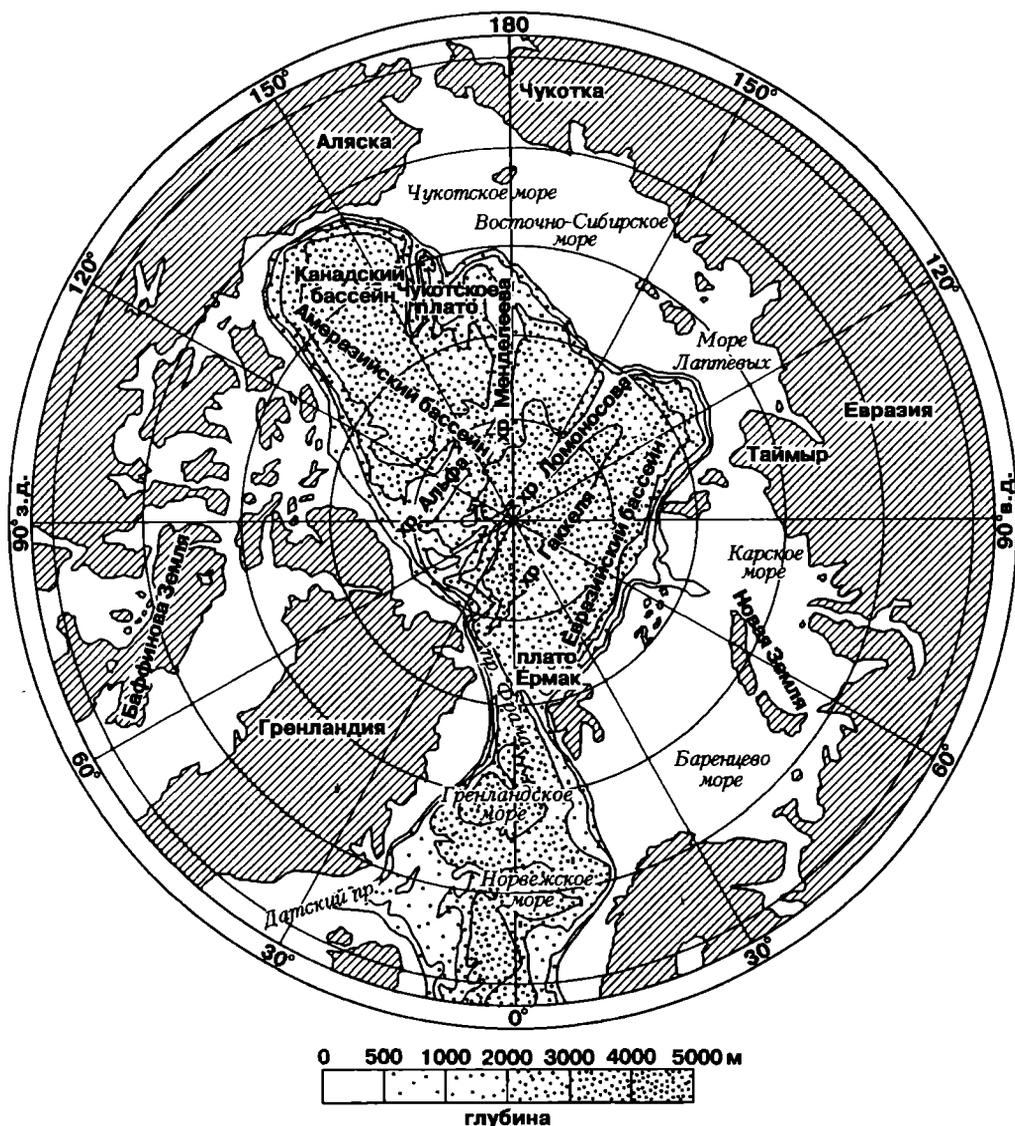
*Никита Алексеевич Богданов, член-корреспондент РАН, директор Института литосферы РАН. Основные научные интересы сосредоточены в области тектоники и эволюции окраинных морей. В течение ряда лет занимался изучением строения и эволюции Арктического шельфа. Член редколлегии журнала «Природа».*



*Иван Алексеевич Басов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией стратиграфии и палеогеографии океанов Института литосферы РАН. Область научных интересов — биостратиграфия осадочного чехла океанов, палеоокеанология, палеоклиматология. Неоднократно публиковался в журнале «Природа».*

ГЛУБОКОВОДНОЕ бурение в океанах, которое проводится уже почти тридцать лет, в корне изменило представления геологов о строении и эволюции Земли. Именно благодаря ему возникла и успешно развивается новая парадигма геологической науки — теория тектоники плит, которая в настоящее время разделяется подавляющим большинством исследователей истории развития нашей планеты. За прошедшие десятилетия в Мировом океане пробурены тысячи скважин, заложенных более чем в тысяче точек различных районов и на разных морфологических структурах дна. Вместе с тем, в силу различных причин, связанных прежде всего с доступностью тех или иных районов океана, распределение точек бурения крайне неравномерно. Наименее изученными остаются высокоширотные области океана, хотя именно эти районы, как сейчас становится все больше очевидным, в решающей степени определяют в настоящее время и определяли в прошлом глобальную циркуляцию водных масс и климат планеты.

Особенно это касается Арктического бассейна, который до настоящего времени остается недостаточно изученным. Геологические исследования Арктики важны прежде всего с сугубо практической точки зрения, так как отложения, заполняющие осадочные бассейны арктического шельфа, богаты различными полезными ископаемыми, в первую очередь нефтью и газом. При взгляде на карту Арктического бассейна видно, что большая часть обширного шельфа, т. е. районов, перспективных в отношении обнаружения месторождений углеводородов, прилегает к берегам России. В частности, в пределах Баренцевоморского



Основные структуры дна Арктического бассейна.

шельфа открыты и разведаны богатейшие месторождения нефти и газа, такие как Приразломное и Штокмановское, разработка которых планируется в ближайшие годы. Перспективные площади имеются и в других осадочных бассейнах российского арктического шельфа. Это обстоятельство делает геологические исследования в

Арктике исключительно актуальными для России.

Изучение Арктического бассейна важно также с точки зрения решения многих фундаментальных проблем геологии. С его развитием связана эволюция глобальной океанской циркуляции и климата. По общему признанию, в настоящее время климат планеты во многом определяется геологическими и атмосферными процессами, происходящими в пределах этого бассейна.

Знание истории зарождения и эволюции оледенения в Северном полушарии и связанных с ним колебаний климата занимает особое место в моделировании процессов, контролирующих те или иные изменения в системе океанской и атмосферной циркуляции в Арктическом бассейне, что диктуется необходимостью прогнозирования климата и погоды. Новейшие исследования кернов льда в Гренландии продемонстрировали тесную связь между изменениями объема льда в приполярных областях Земли и колебаниями уровня океана. Так, установлено, что во время последнего межледниковья таяние льдов только в пределах Гренландии привело к подъему уровня океана на шесть метров. Естественно, такие масштабные колебания уровня океана могут иметь, если их не предвидеть, катастрофические последствия для многих районов Северной Европы, в том числе России.

Учитывая принципиальное значение геологических исследований в Арктике для понимания океанологической и климатической истории Земли в кайнозойское время и заинтересованность многих стран в их проведении, в настоящее время создана международная программа научного бурения в Арктике, так называемая Nansen Arctic Drilling Program, которая объединила ученых России, Норвегии, Дании, Великобритании, Голландии, Германии, Канады, США и Японии. В рамках этой программы предполагается изучить две основные проблемы: эволюцию литосферы Арктического бассейна и кайнозойскую эволюцию палеосреды.

Первая из этих фундаментальных геологических проблем, которая может быть решена в рамках предлагаемой программы, касается строения и эволюции осадочного чехла Арктического бассейна, который в отличие от остальных океанических бассейнов изучен недостаточно. Анализ осадочных разрезов в океане позволяет точно датировать все происходившие здесь геодинамические процессы.

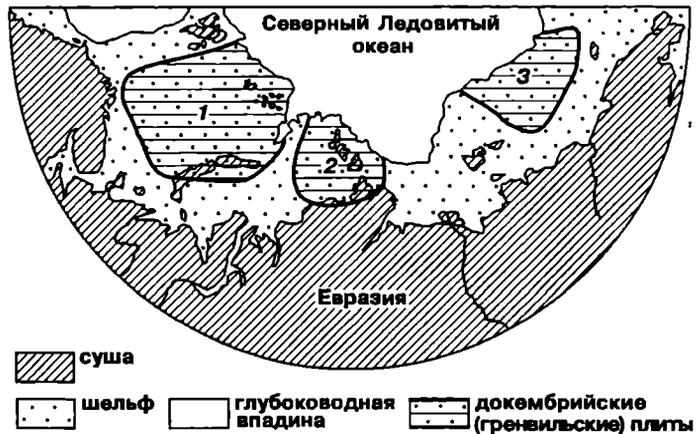
## ЭВОЛЮЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Русские исследователи внесли огромный вклад в изучение строения дна Северного Ледовитого океана. Не случайно, что наиболее крупные элементы подводного рельефа этого бассейна носят имена крупнейших российских ученых, мореплавателей и ледоколов. В последние годы в распоряжение ученых были переданы данные, полученные во время подледных рейсов атомных подводных лодок, которые существенно дополняют результаты специальных работ, проводившихся различными российскими и зарубежными экспедициями. Кроме того, спустя почти 90 лет после первых российских экспедиций на обширном арктическом шельфе России провели свои исследования ученые из Германии, США, стран Скандинавии и др. Эти материалы, как и базовые данные предыдущих лет, использовались при интерпретации истории формирования тектонических структур дна Арктического океана с позиций теории тектоники плит.

История формирования этой обширной акватории в принципе сходна с тектонической эволюцией крупных межконтинентальных морей, таких как Средиземное или Тасманово. В их пределах в течение геологической истории существовали независимые зоны спрединга либо прослеживались продолжения срединно-океанических хребтов<sup>1</sup>. Дно Северного Ледовитого океана разделено хребтом Ломоносова на две почти равновеликие части — Евразийский и Амеразийский бассейны, располагающиеся соответственно к западу и востоку от него. Как полагают, структуры Амеразийского бассейна сформировались около 100 млн лет назад в результате перемещения Гиперборейской микроплиты, осколка Северо-Американской плиты, и приращения ее в середине мела к

<sup>1</sup> The Arctic Ocean region. The Geology of North America / A. Grantz, L. Johnson, J.F. Sweeney (eds.). Boulder, 1990.

Схема расположения докембрийских плит в пределах шельфа Северного Ледовитого океана: 1 — Баренцево-морская; 2 — Карская; 3 — Гиперборейская.



сложной мозаике тектонических блоков северо-востока Азии. С завершением дрейфа Гиперборейской плиты в целом заканчивается формирование основной структуры крайнего севера Евразии<sup>2</sup>. К северу от Гиперборейской плиты в эту же эпоху завершилось образование Канадской впадины, которой свойственна кора океанического типа. Все структуры в обрамлении впадины образовались в меловое время.

Западные границы Американо-Евразийского бассейна определялись перемещавшимся с запада на восток блоком континентальной коры, вероятно, докембрийского возраста, который слагает поднятие хребта Ломоносова. Его отделение от края континентального шельфа Евразийской плиты произошло около 60 млн лет назад, когда вдоль, вероятно, крупного трансформного разлома заложился срединный хребет Гаккеля, представляющий собой северное продолжение Срединно-Атлантического хребта. Впервые он был описан А.М.Карасиком<sup>3</sup>. Расширение бассейна океанического типа вдоль срединной долины хребта происходило довольно медленно (от 0.5

до 1.5 см/год) и продолжалось в течение всего кайнозоя. Оно привело к заметному отдалению от Гренландии Свальбардской плиты, занимающей почти всю акваторию Баренцева моря, и Карской плиты, располагающейся сейчас от северного побережья Таймыра до края континентального уступа. Архипелаг Северная Земля, находящийся в середине Карской плиты, разделяет впадины морей Карского и Лаптевых. Возраст фундамента Свальбардской и Карской плит определяется как гренвильский (около 1 млрд лет)<sup>4</sup>. Предполагается, что первоначально плиты представляли собой части Гренландии и Северной Америки и отделились от последних задолго до начала образования Евразийского бассейна и хребта Гаккеля, присоединившись еще в палеозое (около 300—250 млн лет назад) к Восточно-Европейскому и Сибирскому кратонам.

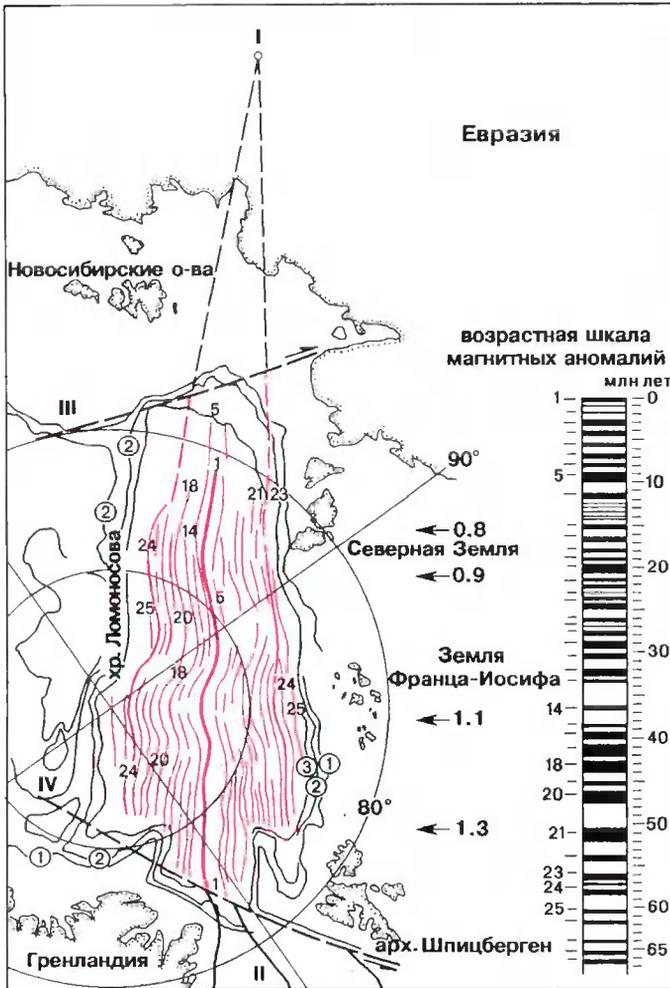
Хребет Гаккеля (или Срединно-Арктический) срезается у края континентального шельфа моря Лаптевых крупным разломом с горизонтальной сдвиговой составляющей в несколько сот километров. Вопрос о продолжении зоны срединга в пределах континента остается дискуссионным.

Таким образом, наличие обшир-

<sup>2</sup> Богданов Н.А., Хаин В.Е., Шипилов Э.В. // Докл. АН. 1995. Т.345. № 1. С.84—86.

<sup>3</sup> Карасик А.М. Магнитные аномалии хребта Гаккеля и происхождение Евразийского суббассейна Северного Ледовитого океана // Геофизические методы разведки в Арктике. Вып.5. Л., 1968. С.8—19.

<sup>4</sup> Богданов Н.А., Хаин В.Е. и др. Объяснительная записка к Тектонической карте Баренцева моря и севера Европейской России. М., 1996. С.2—94.



Карта магнитных аномалий в районе хребта Гаккеля, демонстрирующая характер расширения Евразийского бассейна (по: Kristoffersen Y., 1990; с дополнениями авторов). Римскими цифрами отмечены: I — полюс вращения при спрединге; II — Срединно-Атлантический хребет; III — Новосибирский трансформный разлом; IV — Шпицбергенский трансформный разлом. Датировку линий магнитных аномалий (показаны цветом) определяет возрастная шкала, на которой периоды с прямой (современной) и обратной намагниченностями пород показаны темными и светлыми полосами соответственно. Первая магнитная аномалия совпадает с осью хребта Гаккеля. Для районов, отмеченных стрелками, приведены средние значения скорости спрединга (см/год). Цифры в кружках на изолиниях — глубины (км).

ного континентального шельфа на севере Евразии в первую очередь объясняется тем, что дно шельфа сложено в основном стабильными древними (докембрийскими) плитами, отделившимися от Северо-Американской литосферной плиты в разные геологические эпохи.

#### КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПАЛЕОСРЕДЫ

Вторая, может быть, важнейшая, проблема связана с реконструкцией долго- и кратковременных глобальных климатических колебаний, эволюции континентального и морского покров-

ного оледенения, вечной мерзлоты, а также развитием и адаптацией арктической биоты. Познание этих процессов выявляет драматические изменения климата. Известно, что покровное оледенение в приполярных областях Северного полушария появилось гораздо позднее, чем в Южном, и что в недалеком геологическом прошлом ледники покрывали обширные территории континентов, прилегающие к Арктическому бассейну. Начало оледенения в Арктике, равно как и его причины, остаются неясными. По данным глубоководного бурения, оледенение в Арктике развивалось неодновременно в разных районах. У наиболее

Содержание  $CO_2$  в атмосфере в последнее ледниковье, в доиндустриальную эпоху, нынешнем и следующем (прогноз) столетиях (по: Broecker W., 1997).



древнего достоверно установленного материала ледового разноса, который фиксирует время, когда материковые льды впервые достигли уровня моря, возраст около 11 млн лет в проливе Фрама<sup>5</sup>, 8—9.5 млн лет в Баффиновом заливе и Лабрадорской впадине<sup>6</sup>, 7 млн лет на плато Воринг<sup>7</sup> и 5.5 млн лет на плато Воринг<sup>8</sup>. Вместе с тем резкое возрастание его количества в разрезе осадков произошло около 2.6 млн лет назад, т.е. приблизительно одновременно с аналогичным событием в Северной Пацифике<sup>9</sup>, что свидетельствует о синхронности окончательного формирования ледового покрова во всем Арктическом бассейне.

В четвертичной климатической истории Арктики имели место не только чередование длительных периодов ледниковий и межледниковий, но также кратковременные, исключительно резкие колебания, которые происходили в периоды относительно стабиль-

ных условий. Как показали исследования кернов льда из Гренландии, в последние 100 тыс. лет такие резкие климатические колебания были очень частыми. Более того, как выяснилось, они нередко имели глобальный характер. По мнению У.Брокера, это свидетельствует о том, что в истории Земли чередовались периоды с климатическими режимами нескольких разных типов, что определялось многими факторами<sup>10</sup>. Один из таких факторов — термохалинная циркуляция в океане. Моделирование и математические расчеты показывают, что она во многом определяет объемом пресной воды в высокоширотных областях океана, где формируются глубинные воды. Таким образом, изучение климатических колебаний в арктическом регионе, особенно в четвертичное время, может помочь решению другой важной проблемы — эволюции водных масс в этом бассейне и ее влиянии на глобальную циркуляцию и перенос тепла.

Реконструкция климатических флуктуаций и контролирующих их процессов с целью прогнозирования особенно важна в свете активной современной дискуссии о роли возрастания в атмосфере углекислого газа в результате антропогенного воздействия и его возможных, пагубных для чело-

<sup>5</sup> Proc. ODP Sci. Results / J.Thiede, A.M.Myhre, J.V.Firth, G.L.Johnson, W.F.Ruddiman (eds.). College Station, Texas, 1996. V.151.

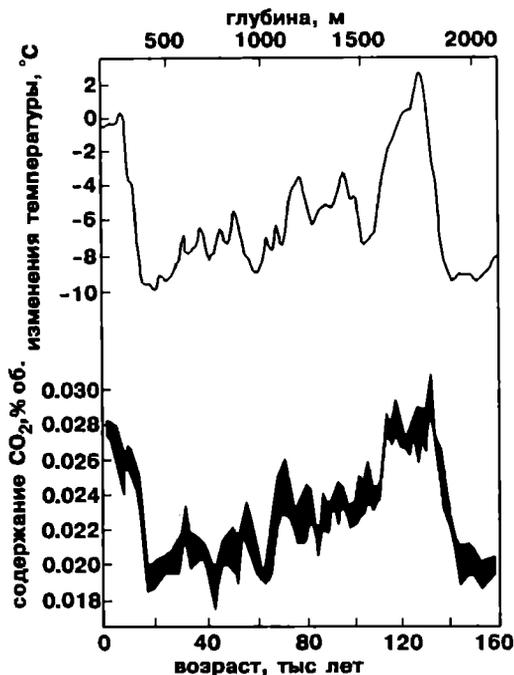
<sup>6</sup> Proc. ODP Sci. Results / S.P.Srinivastava, M.A.Arthur, B.Clement (eds.). College Station, Texas, 1989. V.105. P.65—69; Kristoffersen Y. Eurasia Basin // The Arctic Ocean region. The Geology of North America. Boulder, 1990. P.365—378.

<sup>7</sup> Proc. ODP Sci. Results / H.C.Larsen, A.D.Saunders, P.D.Clift (eds.). College Station, Texas, 1994. V.152.

<sup>8</sup> Proc. ODP Sci. Results / I.Eldholm, J.Thiede, E.Taylor (eds.). College Station, Texas, 1989. V.104.

<sup>9</sup> Proc. ODP Sci. Results / D.K.Rea, I.A.Basov, D.W.Scholl, J.F.Allan (eds.). College Station, Texas, 1995. V.145.

<sup>10</sup> Broecker W. // GSA Today. 1997. V.7. № 5. P.1—7.



Корреляция между изменениями температуры и содержанием  $CO_2$  в атмосфере в последние 160 тыс. лет, по данным изотопного анализа льда, пробуренного в Антарктиде (по: Arthur M.A. et al., 1991).

вещества последствиях. Как показывают результаты мониторинга углекислого газа в атмосфере, на протяжении нынешнего столетия его содержание увеличилось приблизительно на треть. Согласно расчетам упомянутого У.Брокера, к концу XXI в. оно вырастет по сравнению с доиндустриальной эпохой вдвое. Кроме того, осадочные бассейны арктического региона хранят в себе значительные запасы газа, главным образом метана, который благодаря вечной мерзлоте сохраняется в стабильном состоянии в виде газогидратов. Дегградация вечной мерзлоты при значительном потеплении может привести к нарушению этой стабильности и освобождению метана из недр и, как результат, к увеличению содержания в атмосфере углекислого газа, а это в свою очередь может усилить парниковый эффект и спровоцировать дальнейшее потепление, которое будет иметь катастрофические для цивилиза-

ции последствия. Прямая зависимость содержания углекислого газа в атмосфере от температуры была установлена при изучении кернов антарктического льда<sup>11</sup>.

Практически неизученной остается арктическая морочная биота. Суровые полярные условия с низкими температурами, длительными полярными ночами и короткими летними сезонами предопределяют совершенно особый *modus vivendi* арктических организмов. Поэтому знание особенностей их развития здесь в позднем кайнозое не только даст дополнительную информацию об изменениях климата, но и поможет решению фундаментальной проблемы биологии, касающейся эволюции живого вещества и пределов адаптации организованной материи.

#### СТРАТЕГИЯ БУРОВЫХ РАБОТ

Геологические исследования в арктическом бассейне с помощью глубоководного бурения требуют совершенно нового подхода к их реализации и разработки нетрадиционных технологий. В настоящее время предпринимаются энергичные усилия в этом направлении. В 1997 г. в Санкт-Петербурге состоялась международная конференция в рамках Программы научного бурения в Арктике. В ней приняли участие ученые и специалисты из России, Англии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Латвии, Германии, Канады и США. Конференция была посвящена выработке стратегии проведения буровых работ в арктическом бассейне, т.е. определению оптимальных мест и технологий будущего бурения<sup>12</sup>. Учитывая технические трудности бурения и его высокую стоимость в этом регионе, ни у кого не вызывает сомнения, что первоочередными районами для проведения буро-

<sup>11</sup> Arthur M.A., Miller K., Crowley T. Global episodes of moderate to extreme warmth // Advisory Panel Report on Earth system history. Washington, 1991. P.51-74.

<sup>12</sup> Nansen Arctic Drilling. An implementation plan. Joint Oceanographic Institutions. Washington, 1997.

вых работ должны стать континентальные шельфы и подводные поднятия. Предпочтение этих районов в качестве приоритетных не случайно. Это обусловлено как экономическими соображениями, так и особенностями строения в них осадочных разрезов. С одной стороны, бурение на шельфах окраинных морей, которые характеризуются высокими скоростями осадконакопления, обеспечит получение разрезов молодых осадков с высоким стратиграфическим и геохронологическим разрешением, что позволит с большей детальностью реконструировать те или иные палеогеографические события. С другой стороны, конденсированные разрезы, полученные в пределах подводных поднятий, охватывают более длительный временной интервал и дадут возможность восстановить, хотя, разумеется, с меньшей детальностью, кайнозойскую и, возможно, позднемеловую историю развития приполярных областей Северного полушария.

В качестве первоочередных программой исследований намечены несколько районов, охватывающих различные структуры дна. В каждом из этих районов предполагается решение как общих вышеупомянутых геологических, палеоокеанологических и палеоклиматических проблем, так и более частных вопросов, обусловленных спецификой строения и географического положения этих районов.

**Море Лаптевых.** Основная цель бурения в этом бассейне — получение возможно более полного и непрерывного верхнекайнозойского разреза и реконструкция климатических колебаний в плиоцен—четвертичное время. Проводившиеся здесь российскими и в последние годы немецкими учеными исследования показали, в частности, что скорости осадконакопления в южной части моря на протяжении последних 8000 лет составляли 0.4—0.5 м/тыс. лет. Это позволяет надеяться на высокое стратиграфическое разрешение и детальное восстановление различных событий. Предполагаемые места бурения находятся в

пределах районов, где в осадочных разрезах могут сохраниться реликты вечной мерзлоты. В этом случае бурение поможет оценить степень ее стабильности здесь, равно как и состояние газогидратов.

**Баренцево и Карское моря.** В эти морские бассейны впадают крупнейшие реки российского Севера, которые поставляют огромные объемы пресной воды, что, как уже упоминалось, оказывает решающее влияние на глобальную циркуляцию водных масс и, как следствие, на климат. Бурение в этих окраинных бассейнах даст возможность получить разрезы осадков, в которых запечатлена история климатических флуктуаций и колебаний уровня океана в четвертичное время.

**Восточно-Сибирское и Чукотское моря.** Бурение в этих морях призвано решить проблему происхождения и геологической эволюции Американо-Сибирской глубоководной впадины — наиболее древней в Арктическом бассейне структуры, а также выяснить природу континентальной окраины в этом районе. Кроме того, осадочные разрезы, полученные здесь, позволят расшифровать историю колебаний уровня океана, которые оказывали большое влияние на развитие связей между Арктическим бассейном и Тихим океаном через Берингов пролив, в частности на миграцию биоты.

**Море Бофорта.** Имеющиеся данные свидетельствуют, что четвертичные осадки здесь имеют мощность более 1000 м и их разрез сложен чередованием регрессивных грубозернистых дельтовых и тонкозернистых трансгрессивных фаций. Поэтому бурение здесь преследует прежде всего цель восстановления истории колебаний уровня океана и их влияния на водообмен Арктического бассейна и Берингова моря.

**Плато Ермак и поднятие Моррис Джессап.** Основной целью бурения на этих структурах, которые расположены соответственно к северу от пролива Фрама, соединяющего Северный Ледовитый океан с Северной Атлантикой, и к северу от

Гренландии, является изучение поверхностного и глубинного водообмена между этими бассейнами и его роли в океанологической и климатической истории. Оно также может дать ответ на вопрос, когда арктические воды впервые проникли в Северную Атлантику и какую роль при этом сыграла тектоническая эволюция (погружение) плато Ермак.

Как видим, во всех перечисленных районах, прилегающих к континентам, предполагается решать в первую очередь проблемы палеоокеанологии и палеоклиматологии. Сугубо тектонические проблемы и общие проблемы эволюции литосферы в Арктическом бассейне призвано решить бурение в его центральных частях, которое предлагается проводить в трех основных районах.

**Хребет Ломоносова.** Бурением в этом районе предполагается выяснить природу фундамента и проследить динамику процессов рифтогенеза в Арктическом бассейне. Кроме того, учитывая, что осадочный разрез здесь сложен в основном пелагическими осадками, бурение позволит получить дополнительную информацию о начале и эволюции ледового покрова в бассейне и континентального оледенения, характеристика водных масс, истории развития арктической биоты и изменения биопродуктивности.

**Хребет Альфа-Менделеева.** Этот хребет, протянувшийся через всю Американо-Арктическую часть Арктического бассейна и разделяющий ее на глубоководные впадины — Канадскую и Макарова, является одной из ключевых структур для понимания геодинамической эволюции Арктического бассейна. Морфология хребта и некоторые геофизические данные позволяют предполагать, что он сложен вулканогенными и континентальными породами. В результате опробования дна на хребте Альфа канадскими геологами были получены образцы сильно выветрелых щелочных базальтов и верхнемеловых черных глин, обогащенных органическим веществом. Это позволяет надеяться, что здесь могут быть получены

разрезы, которые содержат информацию о ранней истории развития Арктического бассейна и о происхождении самого хребта, чья природа, несмотря на относительно большой объем геофизических данных, до сих пор остается загадкой для геологов.

**Срединно-Арктический хребет.** Изучение этой структуры исключительно важно для решения проблем региональной тектоники Евразийской глубоководной котловины Арктического бассейна. Согласно плит-тектоническим моделям, этот хребет, который известен также как хребет Гаккеля, характеризуется самыми низкими скоростями спрединга, которые оцениваются в 0.5 см/год в районе, прилегающем к шельфу моря Лаптевых. Бурение, намечаемое в районе погребенного окончания хребта в море Лаптевых, может пролить свет на взаимодействие магмы с перекрывающими осадками и дать ответ на вопрос о времени деформации шельфовых отложений.

Что касается технологии бурения в этих районах, то в настоящее время имеется две возможности их проведения. Во-первых, бурение можно проводить с приконтинентального льда в зимнее время, используя относительно недорогие и легкие мобильные установки. В качестве такого средства может быть использована российская буровая установка «Байкал-600». Во-вторых, возможно бурение в летнее время с помощью заякоренной платформы или судна с динамическим позиционированием. Россия располагает двумя такими средствами: буровым судном «Бавенит», принадлежащим государственному предприятию «АМИГЕ», и платформой «Скат-II» — для проведения морских геотехнических исследований при поддержке вспомогательных судов обеспечения («Арктикморнефтегазразведка»).

Несмотря на то, что бурение в глубоководных впадинах Арктического бассейна программой пока не предусматривается, изучение в них осадочного разреза возможно с помощью специальных грунтовых трубок, способ-

ных проникать в осадки достаточно глубоко. Для этой цели предполагается использовать французское научно-исследовательское судно «Marion Dufresne» с технологическим оборудованием для получения колонок осадков длиной более 50 м, прошедшим успешное испытание в Индийском океане<sup>13</sup>.

Для успешной реализации буровых работ, оптимального выбора участков дна для бурения и получения максимально возможного объема геологической информации программой бурения в Арктике предусматривается проведение геофизической съемки выбранных районов. Наиболее подходящим средством для проведения этих исследований являются подводные лодки. Морские геофизические исследования в Арктическом бассейне уже проводятся. В частности, начиная с 1993 г. они ведутся здесь с борта американской подводной лодки класса «Sturgeon», принадлежащей ВМФ США. В результате за не-

сколько лет подо льдами Северного Ледовитого океана ею пройдено более 50 тыс. км, сделана съемка дна сонаром бокового обзора и проведены гравиметрические исследования.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть, что геологические исследования в Арктическом бассейне, значительная доля акватории которого — зона геополитических, военных и экономических интересов России, не могут остаться без внимания российских ученых. Они были в числе первопроходцев в изучении Арктики и на протяжении многих десятилетий проводили здесь геологические и другие исследования. Большой вклад, который ученые нашей страны внесли в изучение Мирового океана и развитие геологической науки в целом, признан во всем мире. Поэтому, несмотря на современную экономическую ситуацию в стране, было бы серьезной стратегической ошибкой допустить, чтобы исследования по данной международной программе проводились без их активного участия. Это было бы также и неуважением к памяти многих выдающихся и менее широко известных российских исследователей Арктики, посвятивших свою жизнь ее изучению.

<sup>13</sup> Lancelot Y., Balut Y. et al. 50-meter piston cores taken in the tropical Indian Ocean (SEY-MAMA/SHIVA Expedition) // Abstracts of Fourth International Conference on Paleooceanography, Kiel/Germany. 1992.

## КОРОТКО

● Геолог Д. Робертс (D. Roberts) обнаружил на склоне большой песчаной дюны, неподалеку от морской лагуны Лангебаан, что примерно в 100 км от Кейптауна (Южная Африка), три следа нашего далекого предка. Антрополог Л.Р. Бергер (L.R. Berger; Витватерсрандский университет, Йоханнесбург) измерил находку и оценил ее важность. Следы, каждый длиной около 21.6 см, оказались сходны с отпечатками ступней современного охотника, представляющего одного из местных племен. Сравнение позволило

установить, что следы принадлежали человеку ростом от 153 до 160 см; возможно, это была женщина, иначе рост был бы больше.

Геохимики проанализировали состав пород, сохранивших следы, и пришли к выводу, что оставлены они примерно 117 тыс. лет назад. Более древнего следа человека, анатомически близкого современному, пока не обнаружено.

Science News. 1997. V.152. № 8. P.117 (США).

● Во время «переписи» колонии императорских пин-

гвинов, обитающих на заснеженном льду западной периферии моря Росса, Дж. Куймэн (J. Кооупан; Скриппсовский институт океанографии, США) обнаружил птенца-альбиноса. Исследователю с большим трудом удалось заметить птицу из-за ее полностью белого оперения. Хотя Куймэн изучает антарктических пингвинов уже на протяжении более 30 лет, такая встреча — первая в его практике.

Explorations. 1997. V.4. № 1. P.31 (США).

# Тайны и загадки «живого» света

Л. Ю. Бровко, Н. Н. Угарова



*Любовь Юльевна Бровко, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник кафедры химической энзимологии химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Область интересов: физическая химия ферментов, биохемилюминесценция и основанные на ней методы анализа в медицине, экологии и технологии.*

*Наталья Николаевна Угарова, доктор химических наук, профессор, заведующая лабораторией той же кафедры. Научные интересы связаны с биокатализом, биотехнологией, физико-химической биологией, биолюминесценцией и ее применением.*

## ОТ БОЙЛЯ ДО СОВРЕМЕННОСТИ

Биолюминесценция — это свет живой природы, волшебное свечение, которым можно любоваться на берегу моря, наблюдая ночью за фосфоресцирующими морскими волнами или за хороводами жучков-светлячков. Подводное царство населено множеством светящихся рыб, моллюсков, медуз и других обитателей морских глубин. Тайны происхождения «живого» света давно привлекли внимание людей. Светящиеся организмы были описаны в древнекитайских книгах еще 3000 лет назад, а также в трудах древних философов — Аристотеля и Плиния.

В 1668 г. Р.Бойль отметил нечто общее между процессами горения угля и излучения «холодного света» гниющими деревьями. В обоих случаях, как показал Бойль, свечение исчезает, если удалить воздух (т.е. кислород). Следовательно, излучение света живыми существами возникает при окислении, протекающем в клетках. Однако две главные проблемы оставались неразрешенными до второй половины XIX в.: действительно ли свет — это результат жизнедеятельности живых существ; в результате каких — физических или химических — внутриклеточных процессов появляется «холодное свечение».

Важным этапом в раскрытии тайны «живого» света стали работы французского ученого Р. Дюбуа, который выделил из жуков-светлячков и из светящихся двусторчатых моллюсков две фракции. Одна из них не содержала белка и была устойчива к высокой температуре, а вторая, белковая фракция, легко теряла свои свойства при нагревании. Впоследствии термостабильную фракцию назвали люциферинем, а термолабильную

— люциферазой. Свечение возникало только при соединении люциферина и люциферазы и только в присутствии атмосферного кислорода, а предварительно прогретая люцифераза была не способна излучать «живой» свет. Работа Дюбуа дала толчок к поиску и изучению тех веществ в биологических системах, которые участвуют в биолюминесценции — генерировании «живого» света.

Излучение энергии в виде света присуще и чисто химическим процессам. Так, свечение, или хемилюминесценция, довольно часто возникает в реакциях окисления или при рекомбинации радикалов. Для его возникновения прежде всего необходимо, чтобы общая выделяемая энергия была больше 40 ккал/моль (это соответствует диапазону энергий видимой области спектра 400—700 нм). Кроме того, продуктом реакции должно быть вещество с энергией электронно-возбужденного состояния, не превышающей свободную энергию химической реакции. В этих условиях может образоваться электронно-возбужденный продукт, возвращение которого в основное состояние тоже сопровождается излучением видимого света. Свечение это довольно слабое, поскольку квантовый выход электронно-возбужденного продукта невысок.

В отличие от хемилюминесцентных, биолюминесцентные, живые, системы светятся необычайно ярко. Это объясняется тем, что почти каждая молекула продукта реакции образуется в электронно-возбужденном состоянии. Биолюминесцентные системы имеют ряд существенных особенностей. Во-первых, реакции с выделением света протекают в водных растворах при значениях pH, близких к нейтральным, когда многие хемилюминесцентные реакции неэффективны. Во-вторых, несмотря на водную среду, квантовый выход биолюминесцентных реакций очень высок (0.1—1.0). Естественно, что столь значительная эффективность процесса достигается за счет участия высокоспецифичных белковых биокатализаторов (ферментов).

В настоящее время, расшифрова-

ны структуры основных компонентов — люциферинов и люцифераз — из наиболее известных биолюминесцентных систем. Оказалось, что люциферины — это сложные органические молекулы разнообразной химической структуры. Примечательно, что у светящихся организмов, принадлежащих таксонам высокого ранга (начиная с класса), структура люциферинов сильно различается, лишь у представителей немногих классов она сходна. Но видовая специфичность в строении люциферинов отсутствует. Иными словами, например у бактерий (царство прокариот), медуз (жизненная форма животных типа кишечнополостных), насекомых (класс) структура этих молекул имеет мало сходства, а у всех изученных видов светляков содержится один и тот же люциферин.

Основную роль в биолюминесцентных системах играют ферменты люциферазы. Это те матрицы, на которых протекает высокоспецифичное окисление молекулы люциферина в электронно-возбужденный продукт. С другой стороны, люциферазы управляют этим процессом, ускоряя его в тысячи раз и направляя по пути, ведущему к выделению света. В отсутствие люцифераз люциферины тоже можно окислить, но в этом случае скорость процесса будет мала, а интенсивность свечения в сотни тысяч раз слабее, чем при ферментативном катализе.

Химические механизмы окисления люциферинов у разных классов светящихся организмов существенно различаются. Для примера приведем биолюминесцентную систему жуков-светляков. На первой стадии фермент связывается со своими субстратами — люциферинном и аденозин-5'-трифосфатом (АТФ). В таком тройном фермент-субстратном комплексе люциферин ковалентно взаимодействует с АТФ, образуются смешанный ангидрид карбоновой и фосфорной кислот, люцифериладенилат и пирофосфат. Люцифериладенилат в комплексе с ферментом через ряд промежуточных стадий окисляется кислородом воздуха, превращаясь в циклический перок-

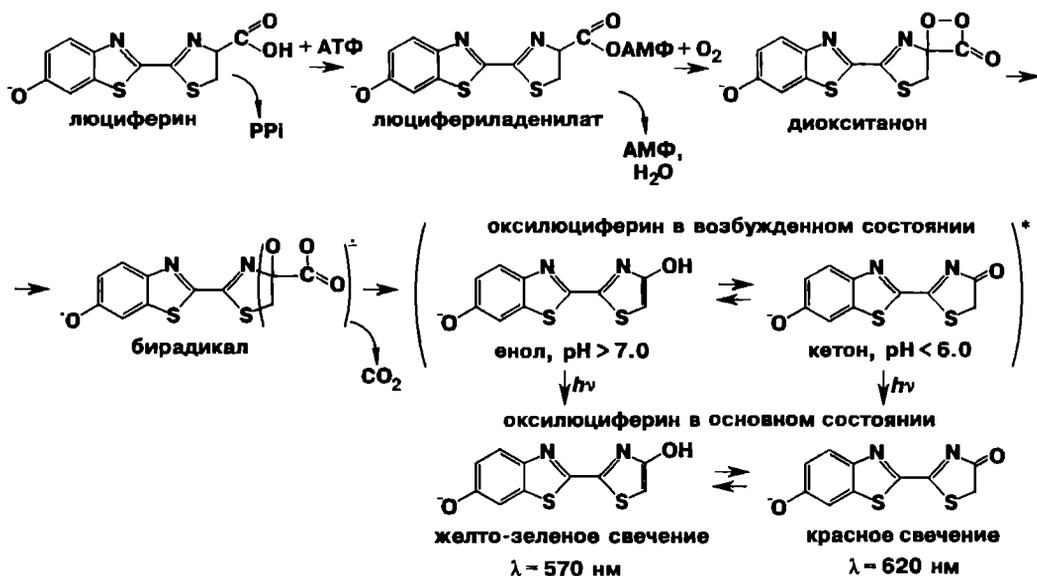


Схема биоломинесцентной реакции для люциферин—люциферазной системы светляков. РР<sub>1</sub> — неорганический пирофосфат.

сид, диокситанон. Эта молекула имеет замечательную особенность: одна ее часть — легко окисляемая гетероциклическая структура (люциферил) — обладает низким ионизационным потенциалом, а другая (пероксид) — высоким сродством к электрону. За счет внутримолекулярного переноса электрона от фенолятной группы к пероксидной образуется резонансная структура. Разрыв О—О-связи вызывает декарбосилирование диокситанона и возникновение бирадикала — анион-радикала кетона и катион-радикала фенолята. Конечный продукт реакции — оксилюциферин в синглетном электронно-возбужденном состоянии — образуется в результате внутримолекулярной аннигиляции этих радикалов. Когда оксилюциферин переходит в свое основное состояние, наблюдается желто-зеленое свечение (550—570 нм).

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в последние годы в изучении биоломинесценции, многие тайны еще остаются нераскрытыми.

В течение ряда лет мы детально изучаем структуру и механизм дейст-

вия люциферазы светляков с целью выяснить роль белковой глобулы фермента в процессе высокоэффективной трансформации химической энергии в световую. Свое внимание мы сосредоточили на исследовании механизма излучения; кинетических характеристик ферментативной реакции; на выяснении роли белка как матрицы, создающей оптимальную микросреду.

Все это требовало больших количеств люциферазы, которую до недавнего времени выделяли из светляков. Чтобы получить 1 мг чистого фермента, необходимо огромное число этих жуков: 800—1000 особей. Но в последние годы был выделен ген люциферазы и включен в клетки кишечной палочки (*Escherichia coli*). В результате появилась возможность получать практически неограниченные количества люциферазы светляков в лабораторных условиях. Правда, оставалась существенная проблема — оптимизировать биосинтез активной люциферазы в клетках *E. coli*.

БИОСИНТЕЗ ЛЮЦИФЕРАЗЫ  
СВЕТЛЯКОВ В БАКТЕРИАЛЬНЫХ  
КЛЕТКАХ

Успехи современной генной инженерии позволяют синтезировать в бак-



*Схема сворачивания белка люциферазы светляков, синтезируемого в клетках *E.coli*, в активную форму фермента.*

териальных клетках чужеродные им белки. Эта технология широко используется в научных исследованиях и для производства практически важных продуктов. Известно, что пространственная структура белка определяет его функциональную активность. Сворачивание белковой цепи, т.е. образование конечной пространственной структуры вновь синтезированного белка в клетках родительского организма, — процесс, во многом еще загадочный. Рассуждая логически, можно предположить, что организм каким-то образом «знает», какой должна быть пространственная конформация белка, чтобы он выполнял требуемые от него функции. Когда же мы искусственно переносим процесс синтеза белка, животного или растительного, в чужеродное окружение бактериальной клетки, обретение белком нужной конформации становится особенно важным. Но нередко синтезированный в микробной клетке белок не обладает правильной пространственной структурой и, следовательно, желаемыми свойствами, хотя его химический состав не отличается от природного.

При исследовании процесса биосинтеза люциферазы светляков в клетках *E.coli* мы обнаружили, что на начальной стадии белок синтезируется в каталитически неактивной форме. Его превращение в активный фермент требует значительного времени — до 50—70 ч. Не будучи самопроизвольным, этот процесс управляется особыми белками — шаперонами. Их функции весьма разнообразны, но основная их задача — контроль за правильностью сворачивания синтезируемых в клетке белков. И этот контроль шапероны осуществляют

различными путями. Одни шапероны связываются с «неправильно» свернутыми или агрегированными белками, заставляя их развернуться и после этого вновь свернуться, но уже правильно. Другие шапероны образуют комплексы с синтезированным белком, который еще не приобрел конечной активной формы. Когда такой комплекс разрушается, высвобождается каталитически активный фермент.

Мы доказали, что именно такой механизм реализуется при биосинтезе люциферазы светляков в клетках *E.coli* благодаря наличию в них шаперона DnaK. В дефектных штаммах *E.coli*, где такой шаперон не синтезируется, образовавшийся белок люциферазы не превращается в каталитически активный фермент. Шапероны называют белками теплового шока, поскольку их синтез в клетках инициируется такими стрессовыми воздействиями, как резкое повышение температуры или pH среды. Для функционирования эти белки требуют участия АТФ (как источника необходимой энергии). Поэтому, когда мы подвергали клетки *E.coli* кратковременному тепловому шоку да еще вводили в них дополнительные количества АТФ, нам удавалось не только увеличить активность синтезированной люциферазы, но и в несколько раз ускорить ее сворачивание, а стало быть, заметно оптимизировать биосинтез фермента.

Аналоги шаперонов DnaK имеются не только в бактериальных, но и в животных клетках. Можно предположить, что и в организме самих светляков сворачивание белка люциферазы идет таким же образом.

ЛЮЦИФЕРАЗА —  
ФЕРМЕНТ-«САМОУБИЙЦА»?

В природе в сумеречное время светляки ярко светятся не один час

подряд, подмигивая своими «лампочками» с частотой в несколько секунд. В пробирке же при смешении всех необходимых компонентов биолюминесцентной реакции видна яркая, но короткая вспышка света. Чем выше концентрации люциферина, АТФ и люциферазы в реакционной смеси, тем вспышка ярче. А затем наблюдается лишь слабое остаточное свечение, которое медленно затухает в течение нескольких часов. Само собой напрашивается объяснение, что быстрое затухание свечения связано с расходом реагентов реагирующих веществ. Но в действительности после вспышки их концентрации в реакционной смеси достаточно высоки. Почему же реакция как бы останавливается, не доходя до конца?

Чтобы разрешить эту загадку, мы проанализировали (с помощью компьютерных программ) кинетику биолюминесцентной реакции при разном соотношении концентраций люциферазы, люциферина и АТФ. Выяснилось, что фермент инактивирует, теряет каталитическую активность, на всех стадиях ферментативного окисления люциферина. Постепенно инактивируют также и комплексы фермента с субстратами, промежуточным и конечным продуктами. Быстрее всего — в десятки раз по сравнению со свободным ферментом — теряет активность комплекс люциферазы с продуктом. Кроме того, этот комплекс настолько прочен, что при избытке субстратов после первого цикла реакции большая доля фермента так и остается полностью связанной, а значит, неактивной в последующих каталитических циклах.

Возникает вопрос, почему же этого не происходит в организме самих светляков? По-видимому, в их клетках присутствуют специальные вещества, которые защищают фермент от инактивации и способствуют разрушению комплекса фермент—продукт, т.е. регенерации активного биокатализатора. Действительно, мы обнаружили, что некоторые поверхностно-активные и природные вещества обладают такой способностью. Еще несколько

лет назад было показано, что если добавить коэнзим А (один из природных коферментов, участвующий в реакциях окисления, синтеза жирных кислот и т.д.) к уже «потухшей» реакционной смеси, то возникает повторная вспышка света. Особенно интересные эффекты мы наблюдали, когда биолюминесцентную реакцию проводили не просто в водном растворе, а в мембраноподобном окружении: в мицеллах или липосомах. В этом случае яркость свечения не только возрастала в десятки раз по сравнению с водным раствором, но и не ослабевала в течение десятков минут. Проще говоря, вместо кратковременной вспышки мы получали яркую «лампочку». Эти эксперименты с очевидностью показывают, что в организме светляка люцифераза находится не в водном окружении, а в особых внутриклеточных мембранных структурах. Они-то и обеспечивают наиболее эффективное функционирование фермента и почти 100%-е преобразование энергии ферментативной реакции в световую.

#### ПОЧЕМУ СВЕЧЕНИЕ БЫВАЕТ РАЗНЫМ?

В природе жуки-светляки отличаются размерами и формой, а цвет излучаемого света у разных видов светляков варьируется от зеленого до оранжевого, т.е. максимум в спектре биолюминесценции изменяется от 490 до 590 нм. Ямайские жуки-щелкуны имеют даже несколько световых органов, испускающих свет неодинакового цвета. В то же время химический механизм биолюминесцентной реакции, структуры исходного люциферина и продукта его окисления — оксилюциферина, излучающего свет, идентичны у всех известных видов жуков-светляков. Таким образом, различия в спектрах биолюминесценции могут быть обусловлены только вариациями в структуре люцифераз, в активном центре которых и рождается электронно-возбужденный оксилюциферин. Методами генной инженерии определены

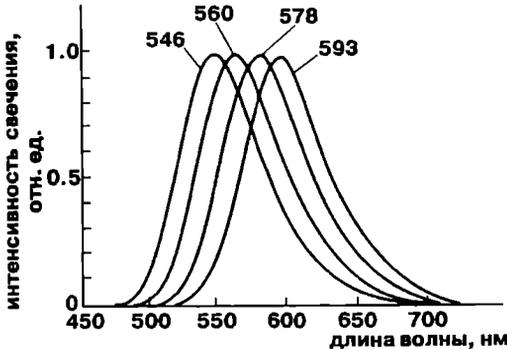
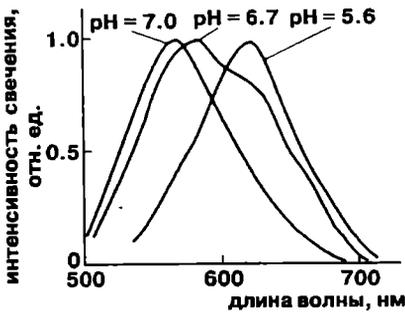
химические структуры люцифераз многих видов светляков и установлено, что их аминокислотные последовательности очень сходны, но не идентичны. С помощью компьютерного анализа первичной структуры белковых цепей всех известных люцифераз светляков и жуков-щелкунов мы выяснили, что цвет биолюминесценции зависит от физико-химических свойств фрагмента, который включает аминокислотные последовательности 223—247. Даже точечные замены аминокислот в нем могут приводить к изменению цвета биолюминесценции. Следовательно, вблизи этого фрагмента и находится тот участок белка, который образует микроокружение излучателя — электронно-возбужденного продукта реакции, оксилюциферина.

Чтобы понять, каким образом белковое микроокружение может влиять на спектры люминесценции оксилюциферина, рассмотрим несколько подробнее физико-химический механизм взаимодействия излучателя с окружающими его молекулами растворителя или белковыми фрагментами. Это влияние может быть как специфическим, так и неспецифическим. В первом случае излучатель химически взаимодействует с микроокружением, например, образуя водородные связи или комплексы с переносом заряда. При этом изменяется электронная структура излучателя, а в результате — и спектр люминесценции, причем сильно и дискретно. Именно за счет такого специфического механизма сдвигается спектр биолюминесценции для люциферин—люциферазной системы светляков *in vitro* при уменьшении pH раствора. Если значения pH среды оптимальны (7.5—7.8), то оксилюциферин находится в форме енола и спектр биолюминесценции имеет максимум в диапазоне 550—570 нм, т.е. в желто-зеленой области. При уменьшении pH ниже 6.0 протонируются некие группы белка в субстратсвязывающем центре, за счет чего меняется ионное состояние оксилюциферина. Он переходит в форму кетона, и максимум спектра смещается в более длинно-

волновую область — 620 нм. В среде с промежуточными значениями pH присутствуют обе формы излучателя — енольная и кетонная, и спектр люминесценции оказывается бимодальным.

С другой стороны, микроокружение излучателя (будь то в растворе или в белковом окружении) можно рассматривать как некую непрерывную диэлектрическую среду, которая оказывает неспецифическое влияние на спектр люминесценции. Энергия, выделяемая в виде света при переходе возбужденной молекулы в основное состояние, зависит от разности энергий этих двух состояний. Чем больше эта разность, тем сильнее максимум спектра люминесценции сдвинут в коротковолновую область. Уровни энергии в свою очередь зависят как от электронных структур молекулы оксилюциферина в основном и возбужденном состоянии, так и от энергии взаимодействия излучателя с растворителем, т.е. энергии сольватации. Чем она выше, тем ниже уровень энергии возбужденной молекулы, тем меньше энергия, выделяемая в виде света, и тем больше максимум излучения сдвинут в длинноволновую область при неизменной форме спектра.

Процесс сольватации молекулы излучателя зависит не только от величины энергии его взаимодействия с растворителем, но и от динамических характеристик последнего, другими словами, от скорости переориентации его молекул при контакте с молекулой излучателя. Дело в том, что при переходе оксилюциферина в электронно-возбужденное состояние мгновенно происходит перестройка его электронной структуры (за  $10^{-15}$  с), резко увеличивается дипольный момент молекулы. В начальный момент возбуждения оксилюциферин находится в «неравновесном» состоянии по отношению к молекулам среды, и лишь после переориентации диполей растворителя в результате движения всей его молекулы, а не только ее электронов, энергия возбужденного состояния излучателя уменьшается. Если за время жизни молекулы возбужденного



*Спектры излучения в люциферин—люциферазной реакции. Если она проводится при нескольких значениях pH среды (вверху), то при использовании одного и того же фермента — люциферазы светляков *Luciola tingrelica* — максимумы свечения отличаются. Разные люциферазы (из жуков-щелкунов; в низу) тоже обеспечивают различия в спектрах биолюминесценции, хотя значение pH среды одно и то же — 7.8.*

оксилюциферина ( $10^{-9}$ — $10^{-8}$  с) окружающие его молекулы растворителя не успевают переориентироваться, то различие энергий возбужденного и основного состояний будет максимальным, а излучение — наиболее коротковолновым. В том случае, когда молекулы растворителя успевают переориентироваться, возбужденный оксилюциферин переходит в равновесное со средой состояние, и его энергия уменьшается на величину энергии сольватации, а спектр люминесценции сдвигается в длинноволновую область тем сильнее, чем выше поляризуемость и подвижность молекул среды.

При возвращении же электронно-возбужденной молекулы в основное состояние наблюдается обратный процесс. Таким образом, стабилизация основного и возбужденного состояний излучателя зависит от времени, поляризуемости и вязкости растворителя.

А как влияет на цвет биолюминесценции белковое микроокружение? Если возбужденный оксилюциферин находится в сильно неполярном микроокружении, он не способен эффективно взаимодействовать с люциферазой. Тогда различие энергий возбужденного и основного состояний излучателя будет максимальным, а излучение — наиболее коротковолновым, т.е. в сине-зеленой области спектра. К такому же результату приводит и белковое микроокружение с высокой жесткостью белкового фрагмента и низкой поляризуемостью аминокислотных остатков (хотя оно и способно эффективно взаимодействовать с излучателем). В этом случае за время жизни возбужденной молекулы оксилюциферина они не успевают переориентироваться, и излучение происходит с более высокого энергетического уровня. Но если само окружение достаточно полярно, высока подвижность белкового фрагмента и поляризуемость аминокислотных остатков в микроокружении оксилюциферина, то последние успевают перестроиться, и энергия излучателя уменьшается. Чем сильнее его взаимодействие с белком и чем выше подвижность белкового фрагмента в активном центре фермента, тем более максимум спектра биолюминесценции сдвигается в длинноволновую, оранжево-красную, область.

Интересные дополнительные сведения о роли микроокружения излучателя и его поведении в активном центре люциферазы мы получили при изучении флуоресцентных свойств модельной системы — комплекса фермент—оксилюциферин. Флуоресценция этого комплекса являет собой полный аналог стадии излучения света в люциферин—люциферазной системе.

Известно, что каждый элементарный акт флуоресценции — это излуче-



ном состоянии, вновь связывается с люциферазой, образуя прочный комплекс. Предложенная гипотеза объясняет и зависимость цвета биолюминесценции от структуры белка, и «водоподобное» окружение электронно-возбужденного оксильюциферина, и его свободное вращение в момент излучения света.

Таким образом, кинетические и физико-химические методы исследования механизма биосинтеза и функционирования люциферазы светляков помогли нам проникнуть в некоторые тайны возникновения «живого» света. Возможно, в будущем удастся создать искусственные светящиеся биосистемы с коэффициентом полезного действия,

близким к 100%. Но уже и сейчас биолюминесценция находит практическое применение. В последние годы на ее основе создан ряд чувствительнейших методов анализа широкого круга веществ. Это экспресс-методы контроля микробных загрязнений в пищевых продуктах и напитках, быстрые методы иммуноферментного анализа, целевой подбор антибиотиков, иммуномодуляторов, экспресс-диагностика инфаркта миокарда и многие другие. В природе же «живой» свет по-прежнему нужен светящимся существам: одним для привлечения добычи, другим — для защиты от врагов, третьим с его помощью отыскивают партнера, чтобы продолжить свой род.

## НОВОСТИ НАУКИ

Охрана окружающей среды

### Превратить бомбовый уран в горючее для АЭС

Изменение международной обстановки привело Министерство энергетики США к решению превратить в ближайшее время 50 т плутония, изымаемого из бомбовых боеголовок, в горючее для атомных электростанций. Первая его партия в 100 кг уже подготовлена для такой конверсии. Однако в США нет завода, на котором можно было бы переработать атомную взрывчатку в смесь оксидов урана и плутония — перспективное для атомной энергетики топливо, называемое MOX (mixed oxides)<sup>1</sup>.

В связи с этим создан частный американско-англо-французский консор-

циум, предложивший Министерству свои услуги. Входящие в него фирмы намерены сразу по заключении договора приступить к производству четырех топливных «сборок» (каждая — из 25 кг плутония) на соответствующих предприятиях в Европе. Британская фирма предлагает использовать свой экспериментальный завод в ядерном центре Селлафилд (графство Кумбрия), хотя для переработки бомбового плутония существующий технологический процесс придется модифицировать (ранее

здесь из реакторного плутония изготавливали MOX-топливо по заказу Швейцарии и Германии). Французское же предприятие в состоянии сразу производить топливо для АЭС на своем заводе «Meloх» около Маркуля на юге страны.

Противники проекта указывают на опасность перевозки радиоактивных веществ, вероятность их утечки или хищения.

Международный консорциум, напротив, заверяет в безопасности своего проекта и убеждает, что его конверсионная деятельность пойдет быстрее и обойдется дешевле, чем строительство соответствующего завода в самих Соединенных Штатах.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Меньшикова Т.С., Антипов С.А. Состояние и перспективы использования MOX-топлива в энергетических реакторах // Природа. 1996. № 10. С.94—104; Кудрявцев Е.Г. Плутоний: разнообразие подходов и мнений // Природа. 1995. № 12. С.3—11.

## Сейсмология

**Успешный сейсмический прогноз в КНР**

За первые месяцы 1997 г. на крайнем северо-западе КНР, в округе Цзяси Синьцзян-Уйгурского автономного района, хорошо известного сейсмической активностью, произошло семь землетрясений с  $M=6$  и более. Китайские ученые опубликовали четыре прогноза, включавшие время и магнитуду предстоящего толчка, и три из них подтвердились. Своевременная, за несколько часов, эвакуация позволила спасти немало человеческих жизней.

Основой прогноза в Китае обычно служит метод экстраполяции местной сейсмической активности, который на Западе до сих пор надежных результатов не давал. 21 января 1997 г. в Цзяси наблюдались один за другим, с задержкой в 1 мин, два толчка. Их магнитуды, по местным данным, составляли соответственно 6.4 и 6.3, согласно же данным Национального центра США по информации о землетрясениях (Голден, штат Колорадо), они были примерно на 0.5 меньше. Оба эти толчка предсказаны не были.

1 марта произошло землетрясение с  $M=6$ , и сотрудники Синьцзянского сейсмологического бюро, предположив, что близится «рой» толчков, подобный отмечавшемуся в апреле 1961 г. в 90 км к западу от этого района, приступили к подготовке прогноза. Это требовало дешифровки характера наступающей сейсмической активности. Затишье, последовавшее за тремя землетрясениями, прошедшими между 1 и 4 апреля ( $M=4$ ), сейсмологи объяснили тем, что в земной коре продолжает накапливаться напряжение, которому предстоит разрядиться мощным толчком. Вечером 5 апреля они предсказали землетрясение магнитудой от 5 до 6 в течение ближайшей недели. За ночь из сейсмоопасной зоны было эвакуировано 450 тыс. чел., размещенных во временных палатках. Ранним утром 6 апреля произошел толчок ( $M=6.4$ ), в полдень — второй, магнитудой около 6.3. Оба они полностью разрушили примерно 2000 и повредили 1500 домов. Погибших, однако, не было.

Успешно были предсказаны землетрясения 11 апреля ( $M=6.6$ ) и 16 апреля 1997 г. ( $M=6.3$ ).

Два толчка, случившихся

6 апреля, были независимо и другими методами предсказаны коллективом сейсмологов, работавшим в Пекине по программе ООН «Десятилетие по уменьшению последствий стихийных бедствий» («International Decade for Natural Disasters Reduction»). Анализ динамики напряжений в земной коре позволил им правильно назвать время и место события, однако они ошибочно предположили, что толчок окажется единственным, а его магнитуда достигнет 7.0 или даже 7.5 (т.е. на порядок мощней, чем самое сильное из произошедших в действительности).

В марте 1997 г. синьцзянские специалисты выдали ошибочный прогноз, приведший к ложной тревоге. Директор местного сейсмического бюро считает, что китайские ученые пока находятся лишь на дальних подступах к точному прогнозу землетрясений. Наличие «роя» мелких предварительных толчков способствует успешному прогнозу, изолированное же событие предсказать значительно сложнее.

Science. 1997. V.276. № 5212. P.526 (США).

# Историко-генетическая связь апатитов и фосфоритов

А. С. Соколов, А. А. Фролов



*Андрей Сергеевич Соколов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный консультант Государственного научно-исследовательского института горнохимического сырья. Первооткрыватель месторождений Каратауского фосфоритносного бассейна. Область научных интересов — геология, генезис, методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых.*



*Анатолий Александрович Фролов, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Всероссийского института минерального сырья. Специалист по структурам рудных полей и месторождений, один из основоположников научного направления по изучению рудоносных кольцевых структур.*

**Ф**ОСФОР нередко называют «элементом жизни». Он — составная часть белка, любой живой клетки, основа жизнедеятельности растений. 90% добываемого фосфора идет на производство минеральных удобрений. Стремительно растет мировая добыча фосфатов. За последние 25 лет их продукция составила 3.5 млрд т, тогда как за предшествующее столетие — менее 1.5 млрд т. Запасы фосфатных руд учтены в более 60 государствах и по последней оценке составляют 63076.4 млн т  $P_2O_5$  (табл.1)<sup>1</sup>.

Фосфатные руды представлены двумя основными группами — апатитовыми (5259 млн т), преимущественно эндогенными, и фосфоритовыми (57817.4 млн т), экзогенными. Изучением апатитов и фосфоритов занимаются, как правило, геологи разной специализации, и литература по ним обособлена. Твердо установлено, что апатитовый фосфор глубинный, а источником фосфора фосфоритов — морских осадочных образований — считается снос с континентов. Однако роль эндогенного фосфора в формировании фосфоритов весьма значительна, и в историко-генетическом отношении проявляется взаимосвязь этих двух групп фосфатных руд.

## АПАТИТЫ

В многообразии месторождений апатитовых руд выделяются три главных генетических класса: магматический, карбонатитовый и коры выветривания.

Магматические апатитовые месторождения — все древние, докембрийские, преимущественно связанные с анортозитовыми формациями, которые в фанерозое практически исчезли. Руды

© А.С.Соколов, А.А.Фролов

<sup>1</sup> Соколов А.С. // Докл. АН. 1995. Т.344. № 3. С.370—373.

этих месторождений бедные (2,5—8%  $P_2O_5$ ), запасы ограниченные. Пример — группа хр. Джугджур (возраст 2700 млн лет, запасы 150 млн т  $P_2O_5$ ).

Самые многочисленные месторождения, включающие 70% запасов апатитовых руд, связаны с ультраосновными — щелочными породами и карбонатитами. К этой группе тяготеют и уникальные Хибинские месторождения, обычно трактуемые как магматические. Все они образуют массивы центрального типа с зонально-кольцевым строением из серии последовательно сформированных пород: ультрамафиты, фойдолиты, нефелиновые и щелочные сиениты и карбонатиты<sup>2</sup>. Доказано глубинное подкорое происхождение щелочно-ультраосновной магмы, давшей эту серию. Выплавки ее в мантии связаны с резким падением давления в зонах глубоко проникающих рифтогенных структур. Развитие таких структур и сопряженных с ними массивов щелочных пород наиболее характерно для рифея, венд-кембрия и мезо-кайнозоя — периодов наивысшей деструкции земной коры, когда в ходе рифтогенеза в рифей-венде раскололась Протоплангея, а в начале мезозоя — Гондвана.

Протяженные рифтовые пояса контролируют более 300 массивов ультраосновных щелочных пород, треть которых несет промышленную апатитовую минерализацию. Все они располагаются на древних платформах и щитах, строго привязаны к рифтам, узлам их сочленения, пересечениям разломов<sup>3</sup>. Такая позиция массивов ультраосновных щелочных комплексов особенно четко выражена в пределах Восточно-Африканской апатитоносной провинции.

Фосфорсодержащие карбонатиты имеют более широкий возрастной диапазон — от протерозоя до неогена.

Месторождения кор выветривания образуются в местах выхода на поверхность апатитоносных карбонатитов и в основном приурочены к кайнозойской эпохе. Однако на некоторых массивах

формирование их происходило и в более древние периоды (например, на Томторе). Приповерхностное залегание, повышенное содержание фосфора, рыхлая структура создают особо благоприятные условия для разработки таких руд.

Главные накопления апатитов преимущественно связаны с завершающими этапами тектоно-магматических эпох, отличавшимися наиболее интенсивным рифтогенезом.

Кроме учтенных запасов апатитовых руд дан и прогноз ресурсов, общий потенциал которых превышает 10 млрд т  $P_2O_5$ . Таков весомый вклад фосфора мантии на континентах. Но еще более значительны эндогенные выделения фосфора в океанах.

Тектоно-магматическая активность, интенсивный рифтогенез, поступление нового эндогенного материала подготавливали условия для образования и накопления также и фосфоритов.

#### ФОСФОРИТЫ

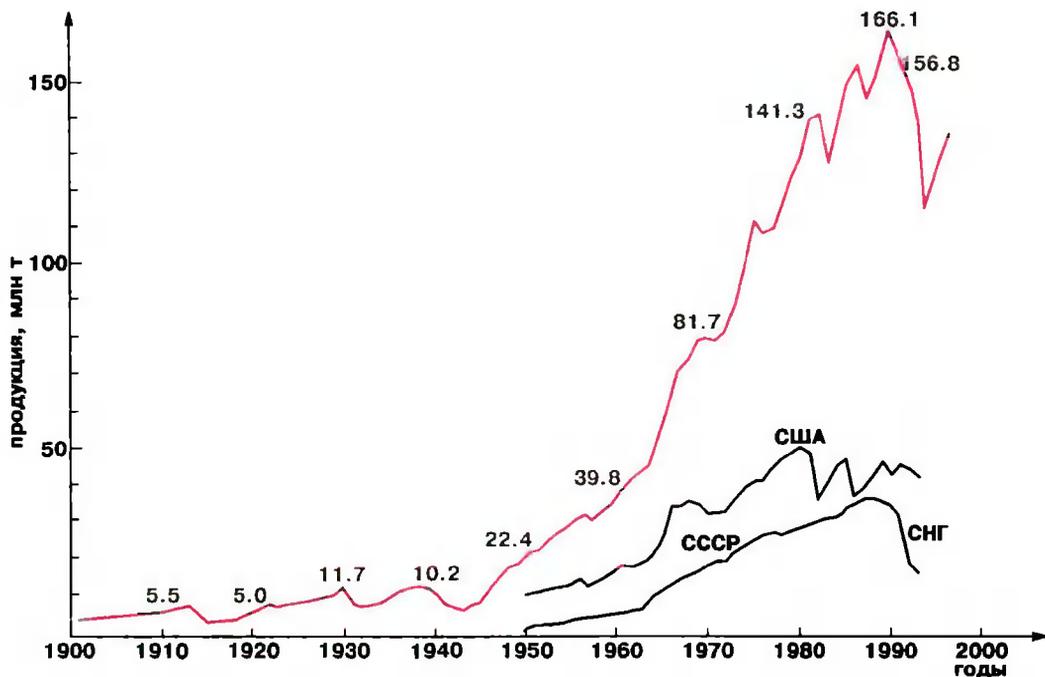
Стратиграфическое размещение фосфоритов изучено надежно, но замечено, что распределение их мировых запасов весьма неравномерно. Резко выделяются две крупнейшие эпохи — поздневендско-раннекембрийская и позднемеловая-палеогеновая. Они заключают 25 и 35% мировых запасов, а месторождения этого возраста распространены на многих континентах. Синхронное образование и накопление фосфоритов в весьма отдаленных друг от друга регионах свидетельствует, что первопричина образования фосфоритов имела планетарный характер и заключалась, надо полагать, в повышенных концентрациях в эти эпохи фосфора в океанских водах всей планеты.

Крупные накопления фосфоритов фиксируются также в перми, неогене, ордовике. Обращают на себя внимание весьма ограниченные запасы фосфоритов довендского возраста, причины этого требуют специального выяснения.

Тектонические условия образования и нахождения фосфоритов изучены

<sup>2</sup> Фролов А.А. Вулканогенные структуры и руды // Природа. 1996. № 11. С.9—20.

<sup>3</sup> Фролов А.А. Рудоносные вулканогенные структуры. М., 1994.



*Развитие мировой добычи (производства) фосфатов.*

*Карьер апатитовых руд на месторождении Коашва в Хибинах.*

**Таблица 1**  
Государства, в которых сосредоточены основные запасы фосфатов

Страна	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , млн т
Марокко	15810(10)*
США	15028(20)
Китай	9530(10)
Россия	4828(3.4)
Казахстан	4306(30)
Мексика	1683(5)
Зап. Сахара	1020
Тунис	999
Ирак	850
Эстония	742
Австралия	670(100)
Бразилия	610(495)

\* В скобках — для апатитовых руд.

недостаточно. Предложенное А.В.Казаковым<sup>4</sup> разделение их на платформенные и геосинклинальные, поначалу широко признанное, вскоре было крити-

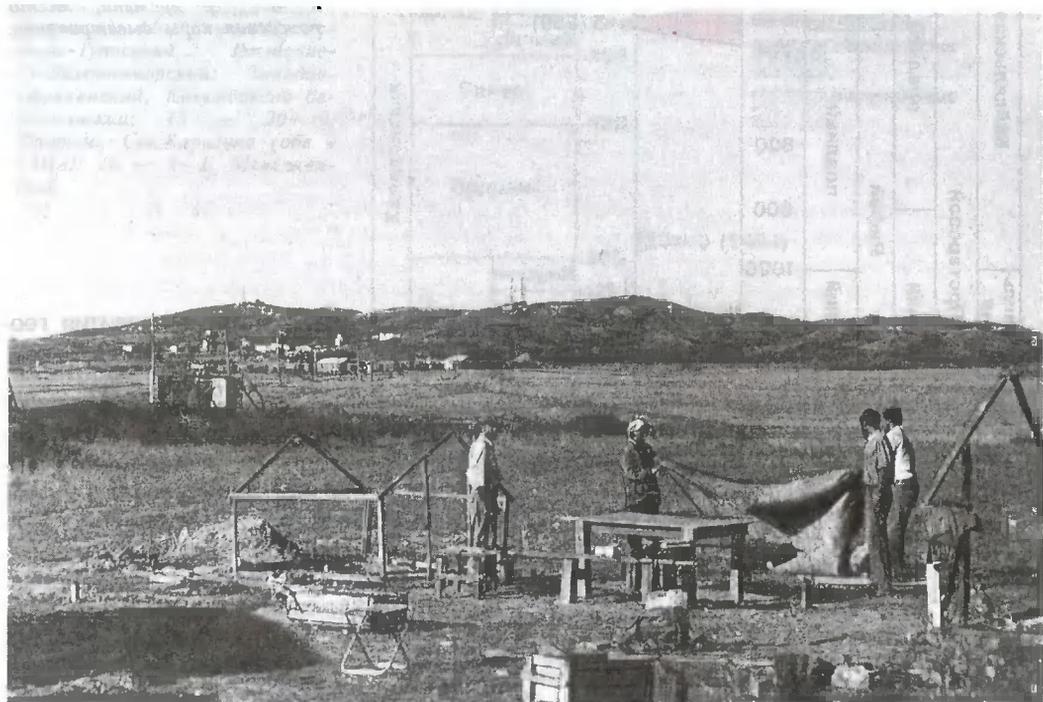
*База геологоразведочной партии в районе фосфоритового месторождения Джанатас (Южный Казахстан, Каратау).*

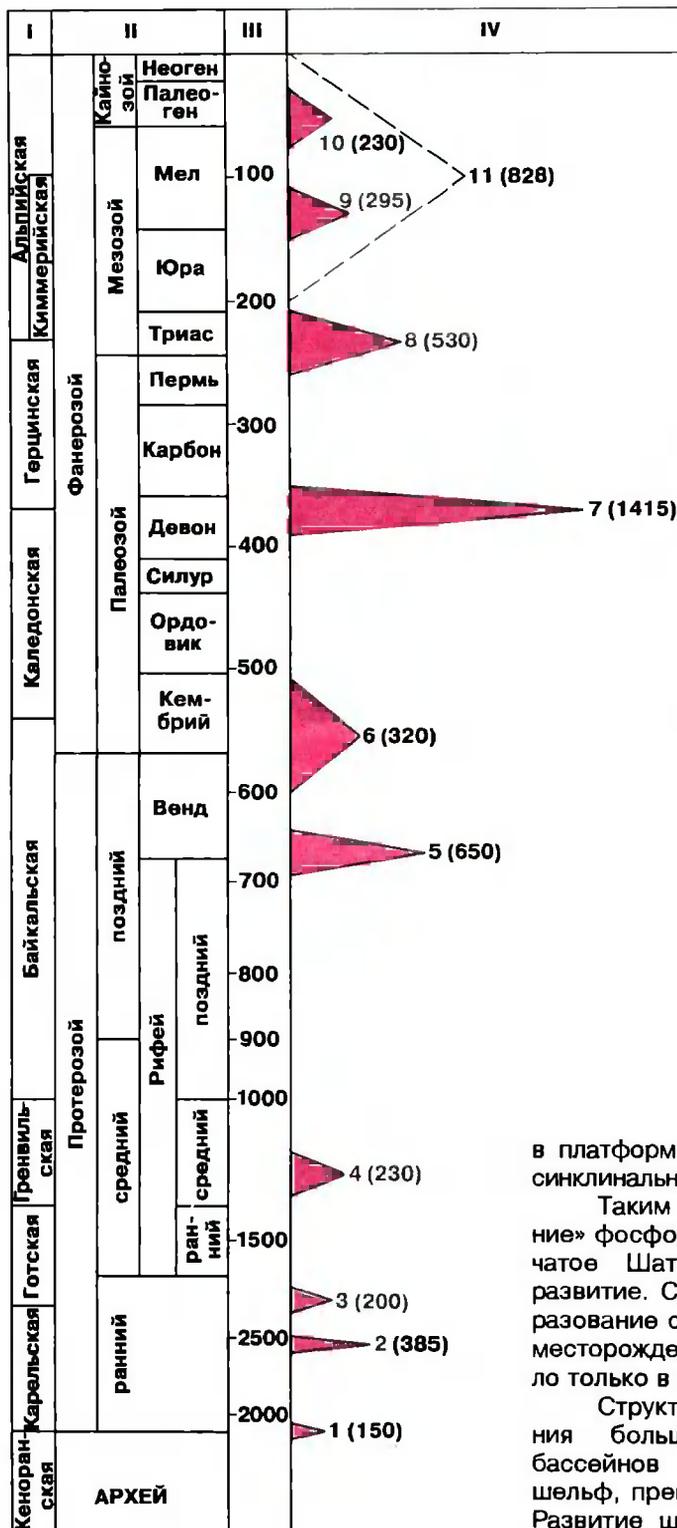
чески пересмотрено. Н.С.Шатский<sup>5</sup> показал, что относимые Казаковым к геосинклинальным северо-африканские фосфориты — типичные платформенные образования. Позднее Г.И.Бушинский<sup>6</sup> установил, что считавшийся типично геосинклинальным пермский бассейн Фосфория в палеозое характеризовался платформенным режимом и лишь в мезо-кайнозое здесь проявились активные тектонические движения, которые как раз и дезориентировали многих, посчитавших эти фосфориты геосинклинальными. То же самое было убедительно показано и для Каратау, фосфориты которых, как выяснилось, формировались

<sup>4</sup> Казаков А.В. Фосфатные фации. Происхождение фосфоритов и геологические факторы формирования месторождений // Тр. НИЦИФ. Вып.46. Л.; М., 1939.

<sup>5</sup> Шатский Н.С. Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей // Совещание по осадочным породам. Вып.2. М., 1995. С.7—100.

<sup>6</sup> Бушинский Г.И. Формация Фосфория. М., 1969.





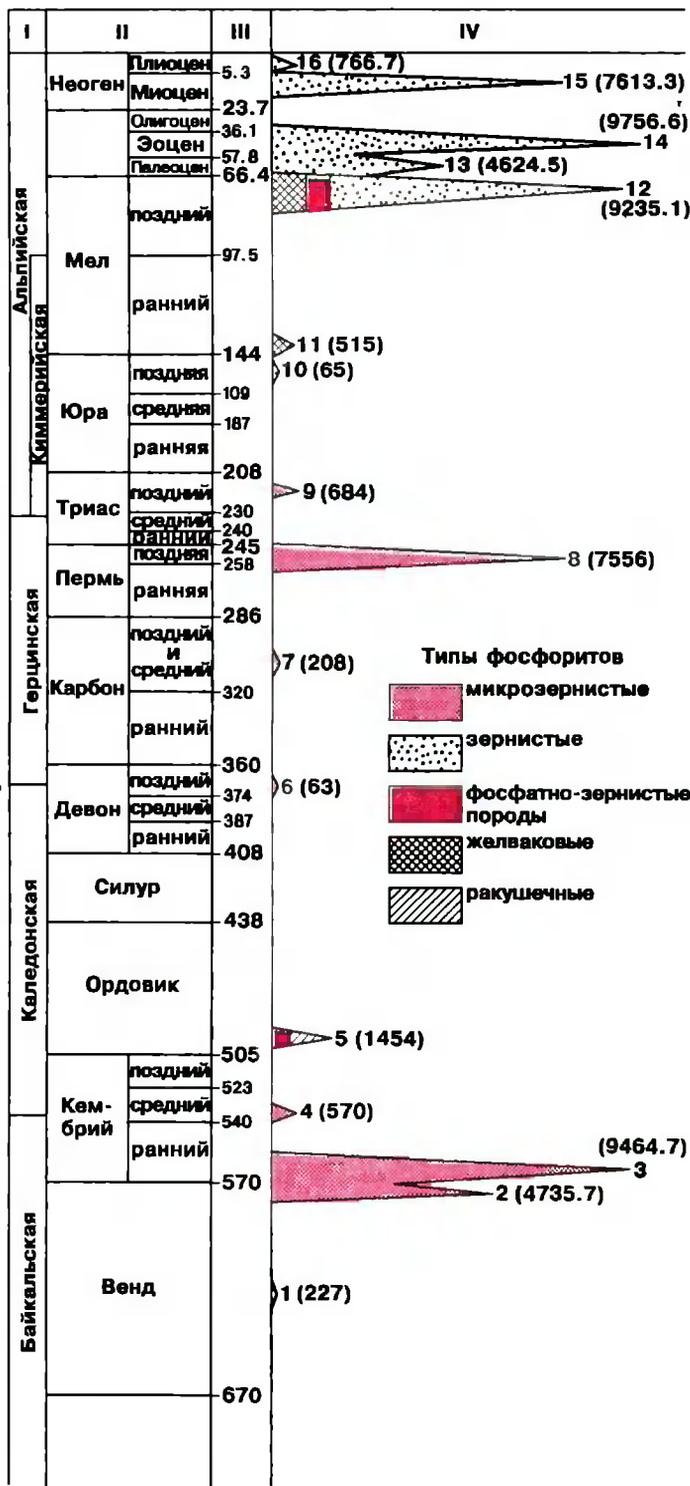
Геохронологическое распределение мировых запасов апатитов и эпохи их накопления: I — тектоно-магматические эпохи; II — геохронологические подразделения; III — абсолютный возраст (в млн лет); IV — накопления апатитов, в скобках показаны запасы  $P_2O_5$  (в млн т). Геохронологический интервал эпохи (млн лет) накопления апатитов и главные месторождения: 1 — 2700—2600, Джугджур (Россия); 2 — 2065—2000, Палабора (ЮАР), Маунт-Вельд (Австралия), Новополтавское (Украина); 3 — 1800—1740, Гремяха-Вурмес, Стремизгородское, Укдуска (все в России); 4 — 1300—1140, Гленовер (ЮАР), Селигдар (Россия); 5 — 700—650, Томтор, Арбарастах, Татарское, Ошурково (все Россия); 6 — 600—500, Скандинавская группа, Белая зима (Россия); 7 — 390—360, Хибинские, Ковдор, (все в России), Соколи (Финляндия); 8 — 260—210, Маймча-Котуйское (Россия), Дорова и др. (ЮАР и Замбия); 9 — 150—110, группа в Бразилии и в Малави; 10 — 85—25, группа в Бразилии и Уганде; 11 — 200 и до настоящего времени, месторождения коры выветривания.

в платформенную стадию развития геосинклинальной области.

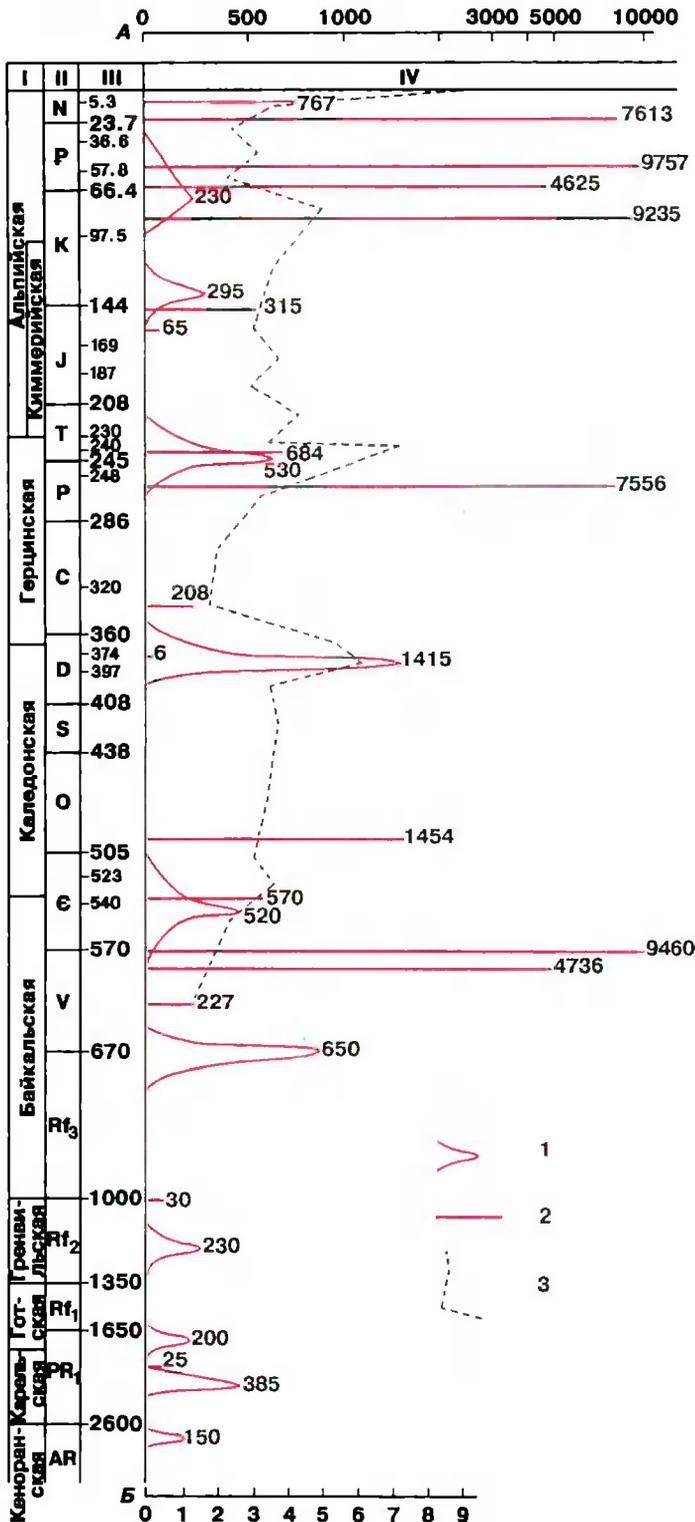
Таким образом, «оплатформливание» фосфоритовых месторождений, начатое Шатским, получило всеобщее развитие. Сегодня установлено, что образование сколько-нибудь значительных месторождений фосфоритов происходило только в платформенных условиях.

Структурной ареной формирования большинства фосфоритоносных бассейнов и месторождений являлся шельф, преимущественно мелководный. Развитие шельфовых зон — необходи-

Геохронологическое распределение мировых запасов фосфоритов: I — тектоно-магматическое эпохи; II — стратиграфические подразделения; III — абсолютный возраст границ стратиграфических подразделений (в млн лет); IV — накопления фосфоритов, в скобках показаны запасы  $P_2O_5$  (в млн т). Геохронологический интервал эпохи (млн лет) накопления фосфоритов и главные фосфоритоносные бассейны и месторождения: 1 — 650—550, Центрально-Африканский; 2 — 580—570, Янцзы (Китай), Окино-Хубсугульский (Россия); 3 — 570—560, Каратау (Казахстан), Лаокай (Китай); 4 — 540—530, бассейн Джорджина (США); 5 — 500—490, Прибалтийский (Россия, Эстония), Лено-Тунгусский (Россия); 6 — 370—365, хр.Эльбурс (Иран); 7 — 315—295, шт.Юта (США); 8 — 260—250, Фосфория (США), Селеук (Россия); 9 — 220—215, хр.Брукса (Аляска, США); 10 — 160—150, Мексиканский, Центральное плато (Мексика); 11 — 150—140, Волжский бассейн (Россия); 12—14 — 75—40, Актобинский (Казахстан), Днепро-Донецкий (Украина), Марокканский, Алжиро-Тунисский, Восточно-Средиземноморский, Западно-Африканский, Колумбийско-Венесуэльский; 15 — 20—10, Флорида, Сев.Каролина (оба в США); 16 — 5—1, Мексиканский.



- Типы фосфоритов**
- микрозернистые
  - зернистые
  - фосфатно-зернистые породы
  - желваковые
  - ракушечные



Геохронологическое составление главных эпох образования и накопления апатитов и фосфоритов: I — тектономагматические эпохи; II — индексы периодов и систем; III — возраст границ периодов и систем (в млн лет); IV — накопления фосфатов: 1 — апатитов, 2 — фосфоритов, 3 — средняя интенсивность накопления рассеянного фосфора в осадочных породах каждого отдела (в млн т  $P_2O_5$  за год). А — масштабная шкала запасов (в млн т  $P_2O_5$ ); Б — масштабная шкала интенсивности накопления рассеянного фосфора в осадочных породах (в млн т  $P_2O_5$  за 1 млн лет).

мое условие для фосфоритообразования. В глобальные эпохи этому благоприятствовали тектонические события.

В конце рифея и венд-кембрии проявилась мощнейшая общепланетарная байкальская тектоно-магматическая эпоха, сопровождавшаяся в завершающем этапе интенсивной деструкцией земной коры и рифтогенезом, который раздробил раннепротерозойский материк Протопангею на ряд сравнительно небольших континентов — Сибирский, Сино-Корейский, Янцзыйский. По их окраинам получили широкое развитие шельфы, располагавшиеся к тому же в низких широтах с аридным климатом. Все это весьма благоприятствовало крупномасштабному фосфоритогенезу. Распад Протопангеи сопровождался интенсивным выделением по глубинным разломам мантийного фосфора, что явилось важным фактором, способствовавшим фосфоритообразованию.

Сходная картина имела место в конце мезозоя — в киммерийско-альпийскую тектоно-магматическую эпоху, когда произошел грандиозный раскол и разъединение Лавразии, и Гондваны и образовался огромный древний океан — Тетис. Он протянулся через Гималайско-Средиземноморскую зону. Атлантики тогда еще не было, и Тетис заканчивался на западе в южной части нынешнего Карибского моря.

Вдоль южного борта Тетиса протягивался на тысячи километров шельф, который продолжался в Южной Америке (примыкавшей тогда к Африке) — по нынешним Венесуэле и Колумбии. Шельф характеризовался устойчивым платформенным режимом и располагался в условиях аридного климата. Это весьма благоприятствовало фосфоритообразованию за счет апвеллинга глубинных, обогащенных фосфором океанских вод<sup>7</sup>. В позднем мелу и первой половине палеогена на шельфе Тетиса образовались многочисленные и очень крупные месторождения зернистых фосфоритов обширнейшей Аравийско-Африканской

фосфоритоносной провинции. Их западным продолжением явились фосфориты Венесуэлы и Колумбии.

В литературе фациально-литологическая характеристика фосфоритов подробно освещена<sup>8</sup>. Отметим лишь, что среди многообразия фосфоритов у нас в стране принято выделять определенные литогенетические и геолого-промышленные типы, связанные с конкретными формациями (табл.2)<sup>9</sup>.

Заметим, что даже эти, очень краткие приведенные сведения четко показывают эволюцию типов фосфоритогенеза — от микрозернистых и ракушечных фосфоритов в палеозое, через юрско-меловые желваковые к позднемеловым палеогеновым и неогеновым зернистым. При этом эволюционирует минералогическая природа фосфатов фосфоритов, их ураноносность и др.<sup>10</sup>.

Общепризнанно, что фосфориты — это морские осадочные образования, а их фосфор заимствован из океанских вод. Естественно, что независимо от дискутируемой роли биогенных или хемогенных факторов высадка фосфора, т.е. его концентрация в океанских водах, имели первостепенное значение для фосфоритогенеза. Выяснить эти концентрации возможно, изучив так называемый рассеянный фосфор, содержащийся во всех осадочных породах в разных, но близких к кларковым, концентрациях. В последнее тридцатилетие содержание рассеянного фосфора в осадочных породах определено в работах А.Б.Ронов для всех стратиграфических подразделений<sup>11</sup>. Оказалось, что его масса на много порядков превышает запасы фосфоритов.

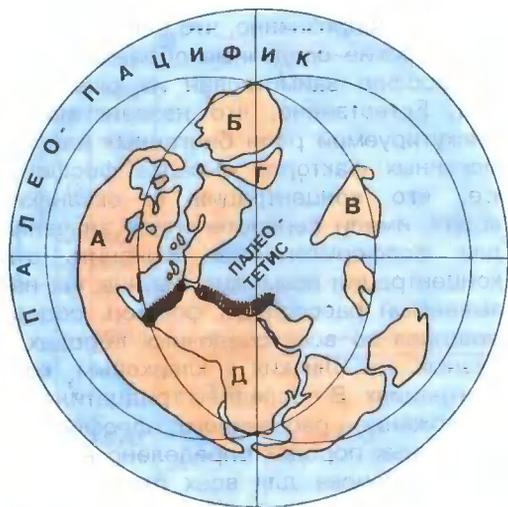
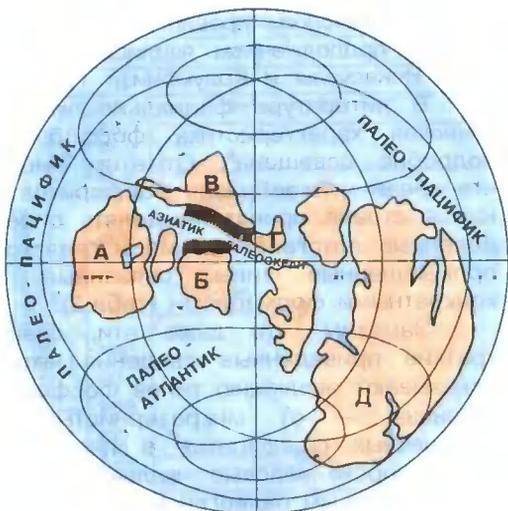
<sup>8</sup> Соколов А.С. Классификация и закономерности размещения месторождений фосфатов // 27-й Междунар. геол. конгр. Неметаллические полезные ископаемые. Т.15. М., 1984. С.48—58.

<sup>9</sup> Геология месторождений фосфоритов, методика их прогнозирования и поисков / Под ред. А.С.Зверева, А.С.Михайлова. М., 1980.

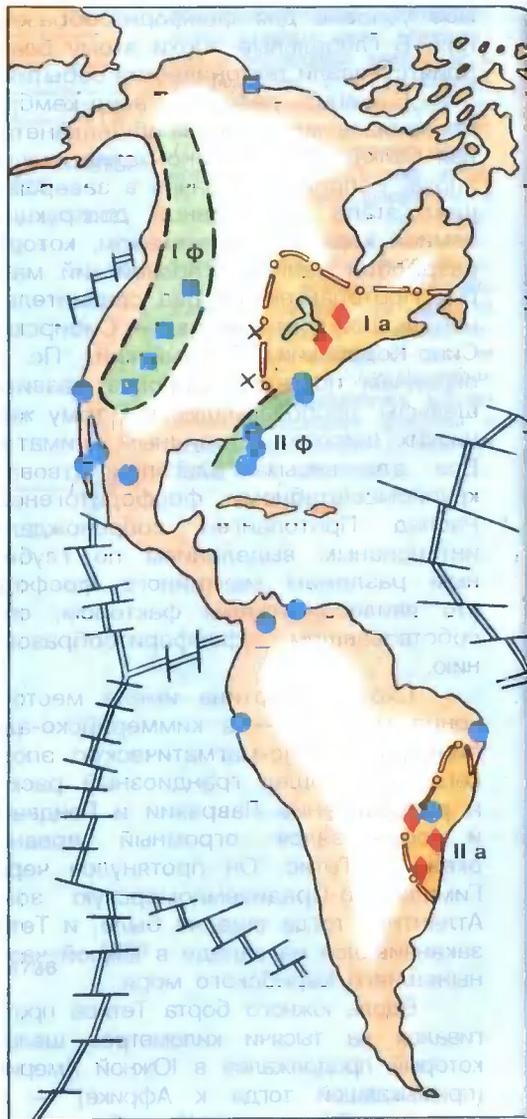
<sup>10</sup> Яншин А.Л. Эволюция фосфоритообразования // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М., 1993. С.158—174.

<sup>11</sup> Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдигов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М., 1990.

<sup>7</sup> Батулин Г.Н. Фосфориты океана // Природа. 1989. № 5. С.76—85.



Реконструкция палеоматериков и палеоокеанов в раннем кембрии (вверху) и начале мезозоя (составлена с использованием материалов Зоненшайна Л.П., Кузьмина М.И., Кононова М.Р. и др., 1984). 1 — палеоматерики: А — Сев.Америка, Б — Сибирь, В — Китай, Г — Казахстан, Д — Гондвана; 2 — фосфоритоносные шельфы в низких широтах с аридным климатом: в раннем кембрии — побережья Китая, Казахстана, Сибири; в мезозое — Аравийско-Африканское побережье.



Карта распределения фосфоритоносных и апатитоносных провинций и главнейших месторождений фосфатных руд. Фосфоритоносные провинции: Iф — Скалистых гор, IIф — Восточно-Американской береговой равнины, IIIф — Аравийско-Африканская, IVф — Восточно-Европейской платформы, Vф — Австралийско-Азиатская. Апатитоносные провинции: Ia — Канадская, IIa — Бразильская, IIIa — Кольско-Скандинавская, IVa — Украинская, Va — Восточно-Африканская, VIIa — Маймеча-Катуйская, VIIIa — Уджинская, VIIIa — Енисейско-Саянская.



**КОНТУРЫ ПРОВИНЦИЙ**

- фосфоритоносных
- апатитоносных

**МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ**

- микрозернистых
- микрозернистых и метаморфизированных
- зернистых
- желваковых

- ракушечных

- X остаточно-метасоматических и гуано

**МЕСТОРОЖДЕНИЯ АПАТИТОВ**

- магматических
- карбонатитовых и кор их выветривания
- Рифтовые зоны срединно-океанических хребтов

**Таблица 2**  
**Типизация фосфоритов, положенная в основу Государственного баланса запасов России**

Типы фосфоритов	Преобладающий возраст	Формации, с которыми они связаны
Микрозернистые	венд-кембрий, палеозой	кремнисто-карбонатные
Ракушечные	ордовик	органогенно-терригенные
Желваковые	поздняя юра—мел	глауконит-терригенные
Зернистые	поздний мел—палеоген	терригенно-кремнисто-карбонатные
Остаточно-метасоматические	мезо-кайнозой	коры выветривания

#### ИСТОРИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ АПАТИТОВ И ФОСФОРИТОВ

Для историко-геологического рассмотрения более показательна не масса фосфора в том или ином стратоподразделении, а интенсивность его накопления, т.е. масса осаждавшаяся за единицу времени, например за 1 млн лет. Максимальные интенсивности приурочены к эпохам образования и накопления фосфоритов. Все это очень важно для решения одной из главных наших задач — установить, как тектоно-магматические эпохи с интенсивным рифтогенезом, приводившим к формированию апатитовых руд, связаны и с образованием фосфоритов.

Вышеизложенное обобщает последний рисунок. На нем хорошо прослеживается связь апатитов и фосфоритов с завершающими этапами тектоно-магматических эпох. С байкальской — связаны венд-кембрийские накопления апатитов, в нее входит поздневендско-раннекембрийская эпоха крупного фосфоритообразования. С завершением герцинской тектоно-магматической эпохи — пермь-триасовые накопления апатитов и крупномасштабное образование фосфоритов. К завершающим стадиям киммерийской и аль-

пийской тектоно-магматических эпох приурочены самые последние накопления апатитов и самые крупные месторождения фосфоритов.

Исключение из этого представляет девонский период. С окончанием каледонской тектоно-магматической эпохи четко связано крупнейшее накопление апатитов. В среднем девоне отмечается самая высокая интенсивность накопления фосфора. Однако сколько-нибудь значительного образования фосфоритов в этот период не отмечается. Верхнедевонские мелко-масштабные и бедные фосфориты хр.Эльбурс в Иране вряд ли следует принимать во внимание. Остается невыясненным, почему длительное время — от ордовика до перми (а это треть фанерозоя) — масштабное фосфоритообразование также не происходило. Эта проблема требует специального изучения, которое, к сожалению, пока никем не предпринималось.

Таким образом, вся «фосфатная история» венд-фанерозоя отчетливо показывает закономерную геолого-генетическую связь накопления и апатитов, и фосфоритов с тектоно-магматическими эпохами, преимущественно с их завершающими этапами, сопровождавшимися интенсивным рифтогенезом, деструкцией земной коры, активным щелочно-ультраосновным магматизмом и поступлениями в океаны значительных масс мантийного фосфора. Это приводило к нарастанию интенсивности накопления фосфора до тех значений, которые обеспечивали крупномасштабное синхронное глобальное фосфоритообразование.

В заключение отметим, что если эндогенный источник фосфора был единственным для образования апатитов, то для формирования фосфоритов кроме фосфора, поступавшего в океаны с континентов, использовался и эндогенный. Установление соотношений баланса источников питания фосфором древних океанов требует специальных, не простых исследований. Но очевидно, что роль эндогенного фосфора для образования древних фосфоритов гораздо значительней, чем это обычно трактуется.

## С кем рыбачил великан Кутху

О. Н. Ладыгина, А. В. Ладыгин



*Ольга Николаевна Ладыгина, сотрудник Кроноцкого государственного биосферного заповедника. Антрополог по образованию, занимается поведением приматов и птиц. Область интересов — популяризация научных знаний о живой природе.*



*Александр Владимирович Ладыгин, научный сотрудник того же заповедника. Область научных интересов — эволюционная и функциональная морфология птиц, экология хищных птиц.*

**Б**ОЛЬШИЕ черные птицы с белым хвостовым оперением и белыми плечами, медленно взмахивая могучими крыльями, летят над пенистой полосой прибоя. Справа расстилается бесконечная заснеженная горная страна, отвесными скалами обрывающаяся в Тихий океан. Волны яростно бьются о них, взметая соленые брызги, и иногда достигают летящих птиц. Уже больше месяца стеллеровы орланы (известные как белоплечие) продолжают тысячекилометровую кочевку вдоль побережья Камчатки, останавливаясь на отдых и кормежку в устьях небольших, постепенно пустеющих лососевых рек. Недалеко уже южная оконечность полуострова, по очертанию удивительно напоминающая обкатанную до белизны лопатку морского зверя. А за мысом Лопатка, в голубеющих океанских далях скрываются северные острова Курильской гряды. Солнце клонится к закату, когда орланы расстаются с океаном и круто поворачивают на запад. Нагромождения горных хребтов, правильных гладких конусов вулканов и округлых сопок внезапно расступаются, открывая широкое зеркало воды.

И вот тут пути птиц и людей, забравшихся на край света, на мгновение пересекаются. Причудливо изломанная тень нашего маленького десятиместного самолета чиркает по рядам выточенных ветром и водой столбов пемзы, что поднимаются из сгустившейся внизу тьмы в вечеряющее небо. По поверью коренных обитателей Камчатки — ительменов — это окаменевшие длинные узкие лодки (баты), которые оставил сушиться после своей большой рыбалки их бог Кутху. И мы успеваем заметить, как три орлана плавно снижаются и присоединяются к



прерывистой цепочке других птиц, которые еще раньше устроились здесь на ночлег. Еще несколько мгновений — и далеко позади нас остаются и горы, и озеро. Пока самолет садится в рыбацком поселке, со стороны открывшегося на западе Охотского моря медленно наползает снеговая туча и поглощает проникающие в иллюминатор прощальные лучи света. А на востоке воды Тихого океана уже едва поблескивают в сгущающейся тьме...

В то время, почти десять лет назад, мы только что окончили Московский университет и поженились, решив поселиться в уединенном домике на берегу Тихого океана, у границ Кроноцкого заповедника. Мы стремились к несуетной простой жизни среди природы, которой соответствовала и предстоящая работа: изучение биологии таинственной и прекрасной птицы — стеллерова, или белоплечего, орлана — одной из самых редких птиц Старого Света.

Даже среди своих ближайших

родичей — 13 видов крупных хищников — белоплечий орлан выглядит гигантом: его масса достигает 9 кг, а размах крыльев — 2,5 м. Он не намного уступает самой крупной из современных летающих птиц — андскому кондору — и в два раза превосходит своего знаменитого американского родича — белоголового орлана. Белоплечий орлан, живущий по другую сторону океана, значительно малочисленнее, хуже исследован и малоизвестен. Популяция этого вида насчитывает всего 4 000 пар, а область гнездования не выходит за пределы России, занимая неширокую полосу побережий Охотского и Берингова морей. Места гнездования стеллерова орлана неизменно приурочены к рыбным водоемам — нерестилищам тихоокеанских лососей. Сильные когтистые лапы и мощный клюв позволяют ему ловко выхватывать из воды и без труда разделять таких крупных рыб, как лососи. А ведь их кожа настолько прочна, что некоторые наро-

*Ильинский вулкан в лучах заходящего солнца. Здесь и далее фото авторов*

*Самец лосося таранит брюхом дно узкой речной протоки на пути к месту нереста.*

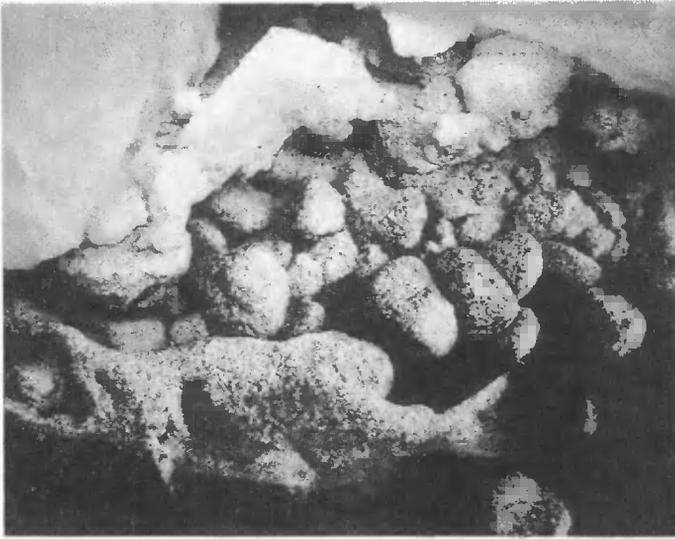


ды Сахалина и Приамурья использовали ее для изготовления элементов одежды и обуви. Все то немногое, что было до сих пор известно об этой птице, представляло собой сплошную загадку. Прежде всего, почему так роскошен торжественный черно-белый наряд орлана, дополненный сверкающим желтым клювом, ведь оперение большинства других хищных птиц выглядит несравненно скромнее?

Не щадя времени и ног, мы исходили на широких охотничьих лыжах, подбитых нерпой, все морское побережье в окрестностях своего домика, где в устьях небольших нерестовых речек держались орланы. Вопросы продолжали сыпаться как из рога изобилия. Почему в отличие от других хищных птиц орланы почти не охраняют ни своей гнездовой, ни охотничьей территории и нередко образуют целые гнездовые поселения в долинах рек, богатых лососями? Отчего орланы редко кормятся поодиночке и даже избегают изобилующих лососями уго-

дий, если не находят там особой своего вида? Что заставляет их объединяться в группы и совершенно неожиданно появляться то на одной, то на другой речке? И чем объяснить их сложное ритуальное поведение, столь нехарактерное для других хищных птиц? Как происходят миграции и откуда сотни птиц появляются на зимовке в Японии и на юге Камчатки, в окрестностях затерянного в горах Курильского озера?

Мучимые этими многочисленными вопросами, мы решили перебраться тремя сотнями километров к югу, к Курильскому озеру — одному из крупнейших в мире нерестилищ лосося нерки. И вот теперь, после двух с лишним недель томительных ожиданий погоды и горючего для вертолета и самолета, от цели путешествия нас отделяют не более шести десятков километров пути на снегоходе. Заветное озеро где-то там, среди гор, смутно чернеющих за пеленой начавшегося снегопада.



*Схваченные морозом рыбы тушки малопривлекательны на изобильном пиру. В отдельные годы тела отнерестившихся лососей, влекомого течением, сбиваются у берегов тихих заводей в огромные разлагающиеся сплавины, а икра из перекопанных гнезд плотным ковром устилает дно.*



*Уже в утренних сумерках зеркальную поверхность нерестилиц начинают бороздить охотящиеся за мальками нерки крохали.*

Первые снежинки тускло поблескивают на оперении огромных неподвижных птиц. Около полуночи орланы сквозь дремотную снежную пелену, окружающую их, ощущают сильные порывы ветра с Охотского моря, которые быстро рассеивают мглу. Полная луна встает за горными хребтами, и на озеро ложится широкая серебристая дорожка. В призрачном свете, любуемся с небес, орланы расправляют занемевшие крылья, освобождая их от налипшего снега, и вновь замирают.

Наутро, еще в полной темноте, на двух снегоходах продолжаем путь вдоль русла большой нерестовой реки, вытекающей из озера. Поначалу широкая долина быстро сужается в горах до тесного скалистого коридора, из которого мы неожиданно вылетаем на открытый всем ветрам простор грандиозной вулканической впадины.

Несколько тысяч лет назад здесь извергались вулканы, и мощный подземный магматический очаг истощился. Вслед за тем катастрофический взрыв привел к еще большему опуска-

нию дна котловины и образованию обширной кальдеры. Заполнившись водой от таяния ледников, она превратилась в глубочайшее озеро. Продолжавшая поступать вода быстро проложила себе дорогу к морскому побережью. Постепенно холодные, исключительно бедные флорой и фауной воды озера стали центром кипучей жизни. Ее источник — лосось нерка, идущий на нерест из моря по реке.

Уже глубокой ночью при свете фар снегохода раскапываем холодную избушку в истоке реки и топим до утра. К этому времени ветер стихает, крепчает мороз. Мы проходим вдоль реки и в утренних сумерках различаем виденные нами с самолета пемзовые обрывы с ночевавшими по их краю орланами и огромные заиндевевшие деревья с сидящими на них десятками других птиц. Над замерзшей поймой медленно выкатывается огромный оранжевый шар солнца. Орланы слегка раскрывают крылья навстречу скупо греющим лучам. Все окутано розовой морозной дымкой, пронизанной утренним светом. Один за другим орланы срываются с кручи, отдаваясь воле воздушных потоков.

Когда мы идем на мотоботе по озеру, уже сотни огромных птиц парят в бездонной синеве, поражая наше воображение своей многочисленностью и разнообразием окраски. Сравнивая множество птиц, мы впервые получаем возможность проследить, как пестробурое оперение молодых постепенно темнеет и на нем проступает белизна плеч и хвоста. Клюв же, поначалу тусклый, последовательно насыщается сочным оранжевым и золотистым цветом. И наконец все взрослые птицы красуются в своем строгом классическом наряде. А птицы видят, как внизу, подернутая легким паром, синее глубокая чаша озера с ползущим по его глади крошечным суденышком, множеством коротких узких притоков и истоком единственной большой реки.

В Южной бухте мы глушим мотор. Теперь только легкие всплески рыб нарушают утреннюю тишину и серебристую гладь озера, на которой

отражается низко скользящий над водой орлан. Тень птицы вспугивает лососей, которые тысячами стоят на прозрачном мелководье перед входом в нерестовые ручьи.

Орлан садится на валун у берега, прикрытый шапкой снега, и долго замороженно смотрит в воду. Появляется и исчезая за солнечными бликами, пара лососей кружит перед ним в медленном танце над ямой между камнями. Глаза, привыкшие к сверкающей льда и воды, постепенно различают роскошный брачный наряд: темно-зеленая голова, у самца — с хищно изогнутой нижней челюстью, гармонирует по цвету с бордовой спиной, постепенно светлеющей к брюху. Вот уже рыбы неподвижно стоят, прижавшись боками друг к другу. Самка веером разворачивает спинной плавник. Как маленький парус, он слегка возвышается над водой и просвечивает насквозь нежно-розовым. Прозрачные икринки падают в небольшое углубление на галечном дне, молочнобелые струйки расплываются в воде, обволакивая их.

Кажется, будто приоткрылась на миг завеса, скрывавшая от нас, потерявших связь с природой современных людей, первозданное чудо творения...

Вдруг внимание орлана привлекает другой лосось. Он изгибает сильное тело на отмели, чтобы пройти в узкую речную протоку. Короткий бросок — и рыба трепещет на берегу. Орлан грузно наступает на нее желтой когтистой лапой, и на припорошенную снегом гальку брызжет зрелая алая икра. Он стремится скрыться от чужих взоров и, с трудом поднимая себя мощными ударами крыльев, по глубокому снегу большими скачками перетаскивает тяжелую ношу в ближайшие ивняки. Пока мы брели в болотных сапогах к берегу и рассматривали пропаханную ловцом борозду с яркими капельками крови, вокруг собралась стайка синиц. Они проворно подбирают икринки и кусочки снега, пропитанные рыбьей кровью.

Между тем день только начинает-



ся. Парящие орланы кружат все ниже над поймой. А мы, надев на болотные сапоги широкие лыжи, пробираемся среди зарослей ив. Посверкивая на солнце, тут и там бегут ручьи, прорезающие узкими каналами двухметровую толщу снега. Ручьям не дают замерзнуть мощные ключи, питающие их вдоль всего течения. Сильные ветры нарушили однообразную белизну равнины, создав здесь бесконечное разнообразие форм: отполированные до блеска заступы и нагромождения сугробов, снежные гrotы вдоль склонов оврагов и карнизы, нависающие огромными языками над руслами ручьев. Порядком заплутав в их хитро переплетенной сети, решаем подняться по берегу протоки, русло которой буквально забито мертвой рыбой, отметавшей икру выше по течению. Раздвигаем ветви приречных зарослей вокруг неширокой поляны и замираем: огромная птица, запутавшись в ветвях и взметая тучу снежных брызг, обрушивается в глубокий суг-

роб. Мы едва успеваем сообразить, что помешали огромному пиршеству орланов, а уже только воздух гудит от взмахов множества мощных крыльев, да ветви кустов продолжают раскачиваться, сбрасывая пухлые подушки снега.

Берег нерестового ключа плотно утопан, залит кровью лососей и усеян их остатками, а дно местами устлано помутневшими шариками мертвой икры. Рыбы так много, что к концу рунного хода не каждая пара может найти место с подходящим для развития икры микроклиматом на мелком галечнике у бьющих из-под земли грунтовых вод. Неудержимая тяга оставить потомство заставляет лососей перекапывать чужие гнезда и губить выметанную другими рыбами икру.

Первые несколько дней мы трагично на постройку двух иглу из снежных блоков, чтобы вести наблюдения на берегах одной из лососевых речек и озера. Следующие пять дней из недели, оставшейся до отъезда,

*В бассейне Курильского озера гнездовой период стеллеровых орланов начинается уже в марте и почти полностью приходится на «безрыбный» сезон. Поэтому и гнездится здесь лишь одна или две пары хищников.*



*Снег, испещренный следами крыльев и лап, может рассказать историю баталий между орланами за обладание лососем.*



*За время кормежки орланов одна рыбина успевает побывать у нескольких хищников.*



надев белые маскировочные костюмы, задолго до рассвета мы перебираемся поочередно то в одно, то в другое иглу. Забираемся в спальни, чтобы хоть как-то отогреть себя и не желающую работать фототехнику, и дрожим до тех пор, пока закатные лучи солнца через снежную амбразуру окна не осветят наши посиневшие лица. Все это время единственным утешением нам служит крошечная бурозубка, суетливо бегающая прямо по нашим ногам в поисках кусочков сухарей.

Утро шестого дня начинается с того, что к окаменевшей на морозе тушке нерки пристраивается дятел и начинает неумолимо долбить ее, а несколько поползней и синиц с таким же усердием подбирают разлетающиеся во все стороны крошки. Примерно через час один из нас, немного утомленный этим зрелищем, начинает клевать носом, но едва не подпрыгивает на месте: за шиворот насыпалось порядком колючего снега, некто зажимает рот и крепко схватил за руку. Иней с потолка продолжает сыпаться, потому что кто-то большой на крыше переминается с ноги на ногу. Затем в амбразуре окна показывается огромный оранжевый хищно загнутый клюв. Немигающий, в золотистом ободке, глаз всматривается в сумрак иглу, скрывающий две скорчившиеся фигуры людей. Когда, спустя полчаса, мы позволяем себе шевельнуться, на поляне, возле нерестовой заводи, оказывается уже около сотни орланов. Ветви невысоких ив вдоль опушки гнутся под тяжестью множества птиц, сверху взирающих на остальных — тех, которые неподвижно сидят на узкой полоске льда вдоль берега.

Тишину на нерестилище нарушают трубные звуки лебедей-кликунов, с шумом опускающихся на воду. Они ночевали в заливе у подножия Ильинского вулкана, нежась у выходов теплых ключей, среди огромных валунов, отколовшихся от древнего лавового потока. Выбрав самые мелководные участки, взрослые птицы приподнимаются над водой и, энергично

двигая лапами, принимаются разгребать гальку, которая большим куполом прикрывает гнезда лососей. Потом опускают головы в воду и отцеживают икру. Вокруг немедленно собираются молодые лебеди и ловко подхватывают клювами отдельные икринки. Вода вокруг кормящихся лебедей буквально вскипает: совершенно неожиданно появляются десятки крохалей, которые, оказывается, тут же и ночевали. Они тоже поспешно ныряют за икрой. Лебеди изредка отгоняют непрошенных гостей, пуская в ход клюв. Лишь основательно прочесав нерестилище и раскопав несколько гнезд лососей, лебеди, насытившись, отплывают на более глубокое место. Здесь они приводят в порядок оперение, очищая его от намерзших капель воды.

А несколько стеллеровых орланов все бродят и бродят не спеша по воде, высоко подняв крылья, чтобы не замочить их. Наконец один из них без труда подцепляет лапой малоподвижную, уже отнерестившуюся рыбку и, неуклюже передвигаясь по мелководью, подтаскивает ее к кромке льда. Сонное настроение, в котором до этого пребывали орланы, мгновенно улетучивается. Десятки птиц слетают с деревьев или бегут, переваливаясь, к ловцу. Они толкают друг друга, иногда бьют крыльями и сильными лапами. Кто-то, не удержавшись на узкой кромке льда, падает в воду, окатив соседей ледяными брызгами. Из толпы птиц выделяется лидер. Раскрыв и подняв крылья, он делает резкий выпад в сторону ловца и оттесняет того от добычи. Хозяин миролюбиво уступает ее и вновь отправляется на рыбалку. Новый обладатель лосося зажимает его когтистой лапой и демонстрирует свои права на добычу: гордо приподнимается, распустив крылья, вытягивает шею и энергично двигает из стороны в сторону до предела расправленным хвостом. Наконец разрывает мощным острым клювом тушку лосося и заглядывает огромные куски, не обращая внимания на кости. Даже усеянная крупными зубами челюсть самца нерки целиком

идет в пищу. В этот момент молодой орлан беспрепятственно вытаскивает клювом большой кусок рыбы прямо из его когтей.

Начало рыбной ловле положено, и орланы один за другим принимаются выуживать из воды лососей. Эти бесспорно лучшие охотники на нерестовых водоемах Камчатки ловко разделяют и поедают огромных рыб и, быстро насытившись, уступают место для трапезы другим своим сородичам. Галдеж десятков ворон и воронов усиливает суматоху, царящую на нерестилище. Осторожно косясь на огромные изогнутые клювы и когти, вороны подсакивают к кормящимся орланам и выхватывают у них кусочки рыбы. В стороне три ворона в радужно переливающимся на солнце иссиня-черном оперении совместными усилиями вытягивают на берег полуразложившегося лосося, застрявшего на перекате.

К полудню большинство стеллеровых орланов насытилось, и на нерестилище наступает некоторое затишье. Воспользовавшись моментом, к пиршественному месту рѣшаются слететь несколько беркутов, долгое время терпеливо сидевших на березах поодаль. Крики врановых при появлении непрошенных гостей тотчас многократно усиливаются. С пронзительными воплями они целой группой пикируют на хищников. Беркуты не остаются безответными — отгоняют воронов от только что вытаскиваемой ими на берег нерки. Разделка лосося, занимающая у стеллеровых орланов считанные минуты, дается им с большим трудом: рыба тушка все время выкальзывает из когтей, а прочную кожу лосося удастся ободрать лишь впятером за несколько часов. Не привлекая к себе особого внимания, нерестилище ненадолго посещает орлан-белохвост. На лету подхватив с поверхности воды кусок уже частично разложившейся нерки, он принимается заглатывать еще не успевшие замерзнуть остатки рыбы, брошенные и позабытые в неразберихе конфликтов стеллеровыми орланами.



*Несложная рыбалка с успехом заменяет лисам традиционное мышкование, весьма затруднительное при глубине снега до двух метров. К тому же с начала февраля его поверхность покрывается на несколько месяцев необычайно прочным настом.*

Какой изумительный оазис среди белого безмолвия! Небывалое количество разнообразной, доступной на незамерзающих ключевых нерестилищах пищи — лососей, икры и молоди — привлекает на зимовку множество птиц разных видов. Все они, за исключением стеллерова орлана, в других условиях рыбой не кормятся и не имеют к этому специальных навыков. Здесь, на нерестилищах, они умудряются расправиться с неркой так, будто добывают свой обычный корм. Лебеди выкапывают из гнезд икру и отцеживают ее, словно беспозвоночных, своим цедильным аппаратом, а из рыбных тушек выщипывают кусочки так же, как отрывают сочные части растений. Дятлы и поползни долбят промерзшую рыбу, как в поисках личинок — древесину. Другие, привычные к рыбе, птицы не в силах в одиночку справиться с крупной неркой



и потому действуют сообща: крохали раскапывают ее гнезда, а беркуты целой компанией разделяют одну рыбину. Падальщикам — орланам-белохвостам — не привыкать к мертвой добыче, они не теряются и на нерестилищах лосося. Многие птицы предпочитают пиратствовать, даже и стеллеровы орланы — великолепные рыболовы от природы. Около половины их рациона — лососи, добытые пиратским способом. Лишь один из десяти ловцов защищает свою добычу и похититель убирается ни с чем. Эта уступчивость — не дань кротости нрава. Лососи настолько крупны, что одной рыбины с лихвой хватает, чтобы насытились несколько хищников. Беспорядочные драки и свалки между ними возникают только тогда, когда на одну рыбу сразу объявляется не меньше 5—10 претендентов. Тут-то и легче стащить рыбу у соседа, чем охотиться самому.

Вечереет, а мы, потрясенные увиденным, все не решаемся выползти

из иглу. Вдруг что-то прерывает общее оживление на нерестилище. Птицы настораживаются. Еще мгновение — и лишь вдалеке слышится свист утиных крыльев. Незаметно появилась из густых ивняков лиса. Она жмурится на солнце, вероятно, предвкушая обильную трапезу. То и дело брезгливо отряхивая воду с лап, она проворно бежит по камушкам к лежащей на перекате, слабо шевелящейся рыбе.

Мороз продолжает крепчать. Совершенно продрогшие мы выходим на берег озера. Галечные пляжи еще залиты заходящим солнцем. Мы замираем: неподалеку, в устье небольшой речушки, над которой в косых лучах солнца стелется пар, бродят несколько орланов. Они окунают головы в воду и с наслаждением купаются, смывая следы крови лососей. После этого долго сушатся на деревьях в пойме, раскрыв крылья, и приводят в порядок свой безукоризненный наряд. Мы переполнены впечатлениями и ощущаем себя счастливейшими из смертных.

*Когда рыбы на нерестилищах становятся все меньше и меньше, орланы начинают питаться.*

*Обильный и калорийный корм заставляет всех менять свои пищевые пристрастия: икру поедают даже дятлы.*



К утру следующего дня погода резко меняется: поднимается сильный ветер, и на озере разыгрывается сильный шторм. Огромные валы прозрачной изумрудной воды, перемешанной с ярко-красными телами нерки, обрушиваются на берег. Скоро под прикрытием галечных куполов в нескольких миллионах гнезд выведутся из пятимиллиметровых икринок крошечные личинки и проведут здесь первые дни своей жизни. Когда рассосется желточный мешок, мальки выберутся на поверхность и начнут питаться скудным пресноводным планктоном. Через год, два или три те из них, которые сумеют прокормиться и не станут добычей хищных гольцов, достигнут всего лишь десятисантимет-

ровой длины. Течение единственной реки, приведшей в озеро родителей, вынесет молодь на просторы Тихого океана. Там они будут быстро расти, проводя зиму в зоне теплого течения Куроисио и совершая сезонные миграции вслед за бурно развивающимся с приходом весны зоопланктоном. Излюбленный корм, богатый каротиноидными пигментами, — мелкие рачки — к пятому-шестому году жизни придаст их мышцам окончательную силу и неповторимый алый цвет. Быстро теряя и то, и другое, совершенно преобразуясь внешне, не питаясь, преодолевая быстрое течение, они вернутся обратно и принесут жизнь тем, с кем связаны мудрым и прекрасным замыслом Всемогущего Творца.

# Какая реальность сокрыта в мифах?

Ю. Е. Березкин



*Юрий Евгеньевич Березкин, доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник Института истории материальной культуры РАН (Санкт-Петербург). Области научных интересов: Америка до Колумба; сравнительная мифология; догосударственные сложные общества; археология Южного Туркменистана. Неоднократно публиковался в «Природе».*

## СОДЕРЖАНИЕ ИЛИ ФОРМА?

В древности люди не сомневались в правдивости мифов. Создатели великих империй почитали своих мифических героев как мудрых правителей или основателей городов. Для китайцев, римлян или инков совершенно реальными личностями были Яо и Шунь, Ромул и Рем, Манко Капак и Мама Окльо. Что уж говорить о римлянах, если даже в начале нашего века известный английский археолог Ч.Вулли был убежден, что обнаруженные им при раскопках в Месопотамии следы сильнейшего наводнения есть свидетельство того самого всемирного потопа, который описан в Библии.

Среди тех, кто не занимается мифологией профессионально, наивно доверчивое отношение к мифам можно встретить еще и сейчас. Однако специалисты знают, что в мифах нет ни рассказов об охоте на мамонтов, ни свидетельств катастроф. Этнография показывает, что память о прошлом, не подкрепленная письменными документами, утрачивается за время жизни четырех-пяти поколений. Родословные вождей порой прослеживались на несколько веков, но это предел. Поэтому ученые рассматривают мифы главным образом как материал, в котором отражаются представления народа о мире и о себе. Иначе говоря, изучение мифологии есть дело скорее психолога, чем историка.

Это касается содержания мифов, точнее их эмоционального восприятия и философского осмысления. Мифы и вообще фольклорные тексты можно, однако, рассматривать и с точки зрения их формального сходства или различия. Если два сходных текста записаны у народов, живущих друг от друга за тысячи километров, то не

свидетельствует ли данный факт о былых контактах или родстве? К подобным предположениям не раз обращались исследователи, интересовавшиеся проблемой происхождения американских индейцев, поисками их азиатской прародины. Еще в конце XIX в. немецкий этнограф П.Эренрайх обратил внимание на целую серию общих мотивов в мифах народов Старого и Нового Света. Особенно видное место сравнительная мифология заняла в реконструкциях прошлого народов Северо-Восточной Сибири и Аляски.

Есть еще одна точка зрения. В 60-х годах американский фольклорист С.Томпсон, переработавший и дополнивший знаменитый «Указатель сказочных типов» А.Аарне, пришел к заключению, что в мифах Южной Америки встречаются в основном те же фабулы и коллизии, что и по всему остальному миру, и что одинаковые мифы появляются независимо друг от друга.

Спор о том, возникают или нет сходные мифы независимо в разных местах, ведется десятилетиями. Опыт показывает, что ни доказать уверенно, ни опровергнуть надёжно такую возможность в отношении двух или нескольких отдельно взятых текстов нельзя. Более продуктивный путь — подойти к мифологическому повествованию как к массовому материалу, обработка которого призвана не объяснять частные случаи, а выявлять статистические закономерности.

С.Томпсону были знакомы лишь немногие публикации южно- и центральноамериканских мифологических текстов. За последние десятилетия число их увеличилось многократно. Делать выводы на основании отрывочных свидетельств рискованно. Но и обилие данных тоже порождает проблемы.

#### МИФЫ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ СТАТИСТИКИ

Торжественная образность романтического или героического европейского мифа кажется менее всего подходящим объектом для нудной

статистики. Однако Европа или Ближний Восток, где архаическая мифология лишь примерно реконструируется по отрывочным и поздним источникам, здесь не показательны. Живые (а не обработанные поэтами и жрецами) мифы, которые созданы обитателями большинства далеких от нас регионов мира, выглядят существенно иначе, чем знакомые нам античные или древневосточные образцы.

На прилагаемых картах представлена территория проживания тех аборигенов Нового Света, чьи мифологические тексты обработаны нами систематически. В дальнейшем мы планируем продолжить работу, исследовав по той же программе мифы всех коренных народов Америки и Сибири. Но уже и сейчас в составленном каталоге насчитывается около 18 тыс. текстов, записанных среди 350 этнических групп. Прослежено распространение около 700 мотивов. В этом колоссальном материале обнаруживаются самые разнообразные параллели и аналогии. «На глаз» очень трудно понять, преобладают ли связи какого-нибудь одного направления или же различные тенденции друг друга уравнивают. Лишь с помощью компьютера появилась надежда распутать этот клубок.

Статистическая обработка фольклорных текстов в подобных масштабах никогда раньше не проводилась. Поэтому не было и предназначенных для нее специальных программ. Главная объективная сложность — неравномерная изученность и сохранность отдельных местных мифологий: для некоторых ареалов они известны превосходно, для других — хуже, для третьих неизвестны вовсе. Отсутствие сведений о каком-либо сюжете или мотиве у того или иного индейского племени может означать, что соответствующего мотива там действительно нет. Но возможно, что миф просто не был почему-либо записан или был утрачен в эпоху после Колумба, когда древняя культура многих индейских народов оказалась разрушена. В такой ситуации мы не можем избежать определенного риска — получить в чем-то

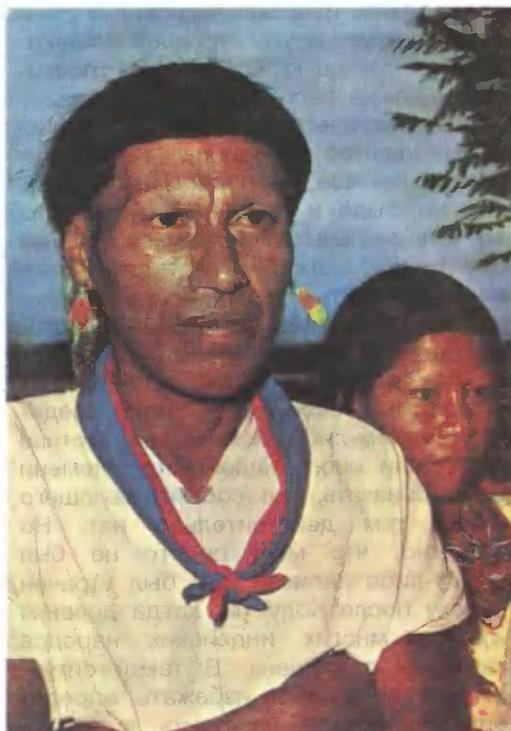


*Каменная статуя культуры сан-агустин на юге Колумбии (1-е тысячелетие н.э.). Подобные изваяния изображали скорее всего «первопредков», т.е. героев мифов, населявших мир до появления в нем настоящих людей.*

*Пирамида Эль-Кастильо на Юкатане. По-видимому, это квадратное в плане сооружение представляло собой символическую модель Вселенной. Симметричный мир, состоящий из четырех четвертей, описывается в космологиях народов Древней Мексики и индейцев юго-запада США, но совершенно не характерен для Южной Америки.*

*Индейцы Северо-Западной Амазонии (крайний слева — шаман). Мифы этой части Южно-Американского континента отличаются исключительным разнообразием и богатством сюжетов.*

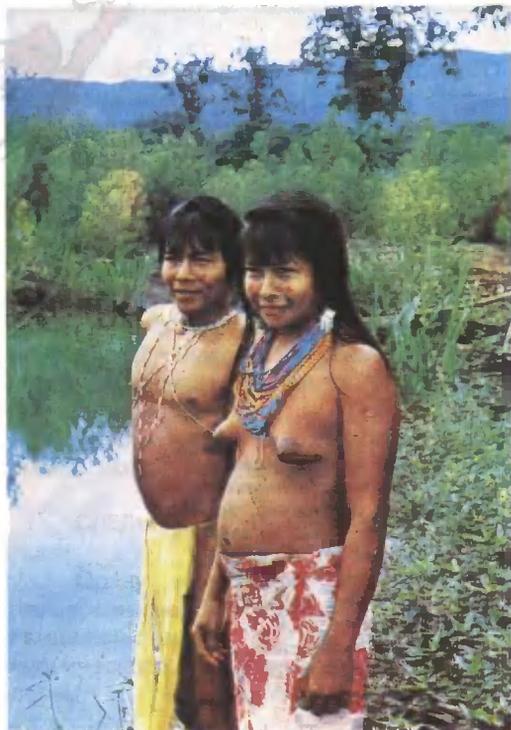
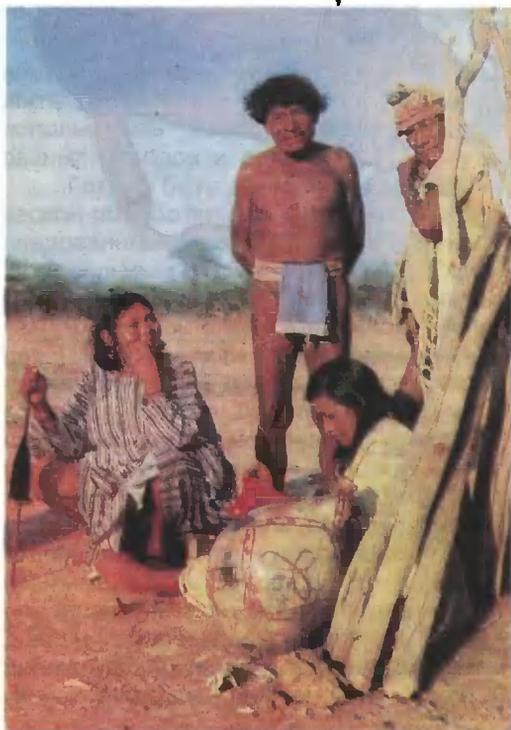
*Девочка из горной Боливии. Несколько лет назад этнографам удалось записать со слов одной из ее сверстниц целое собрание интереснейших текстов индейцев аймара.*





*Семья индейцев гуахиро на северо-востоке Колумбии. В мифах этого народа особенности, типичные для Мезоамерики и Анд, сочетаются с мотивами, распространенными в Амазонии.*

*Индейцы чоко (тихоокеанское побережье Колумбии, один из самых влажных районов мира). Образ жизни чоко мало похож на жизнь обитателей Мексики или побережья Перу, но в их мифах есть много черт, общих для всего притихоокеанского пояса Америки.*



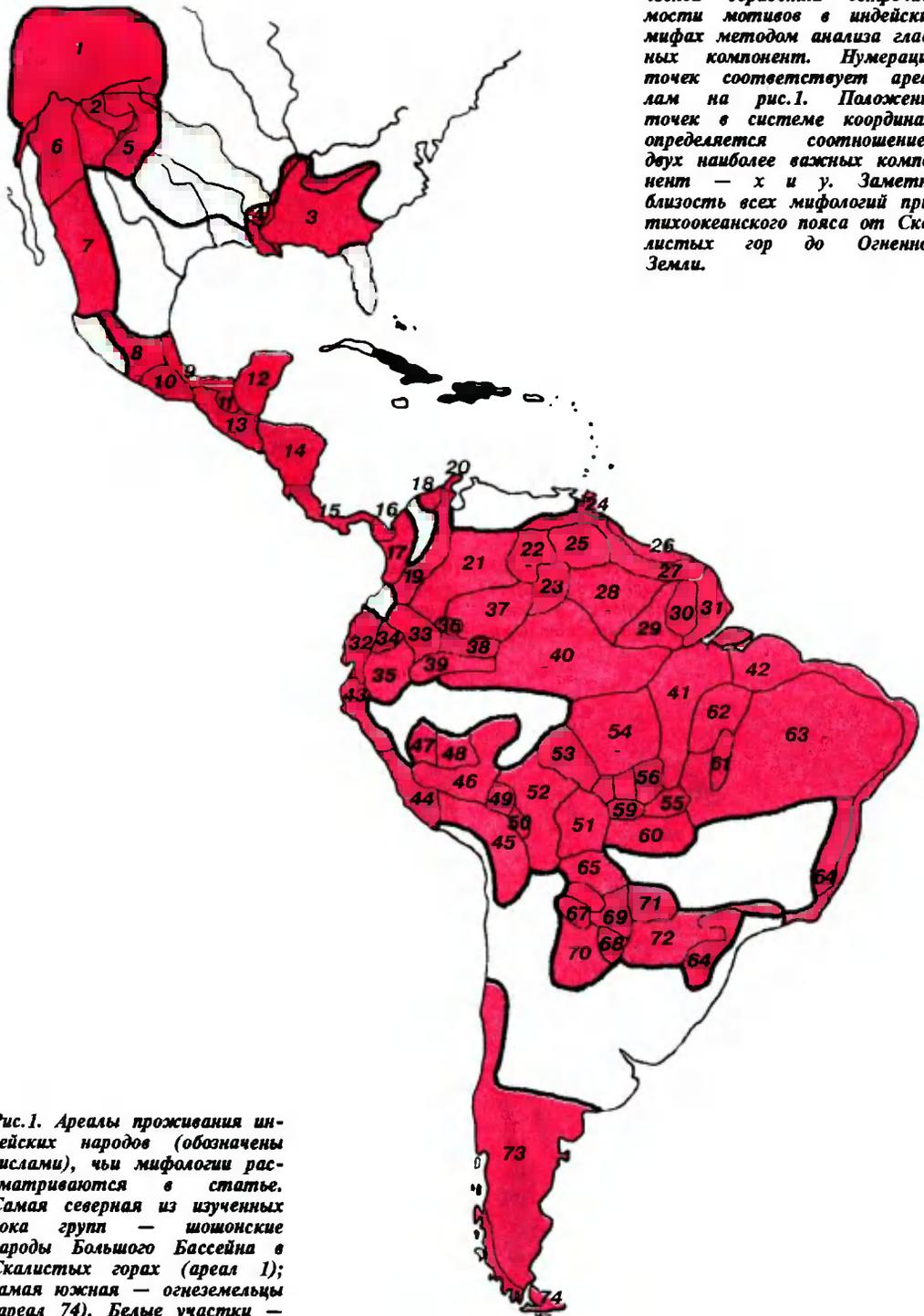
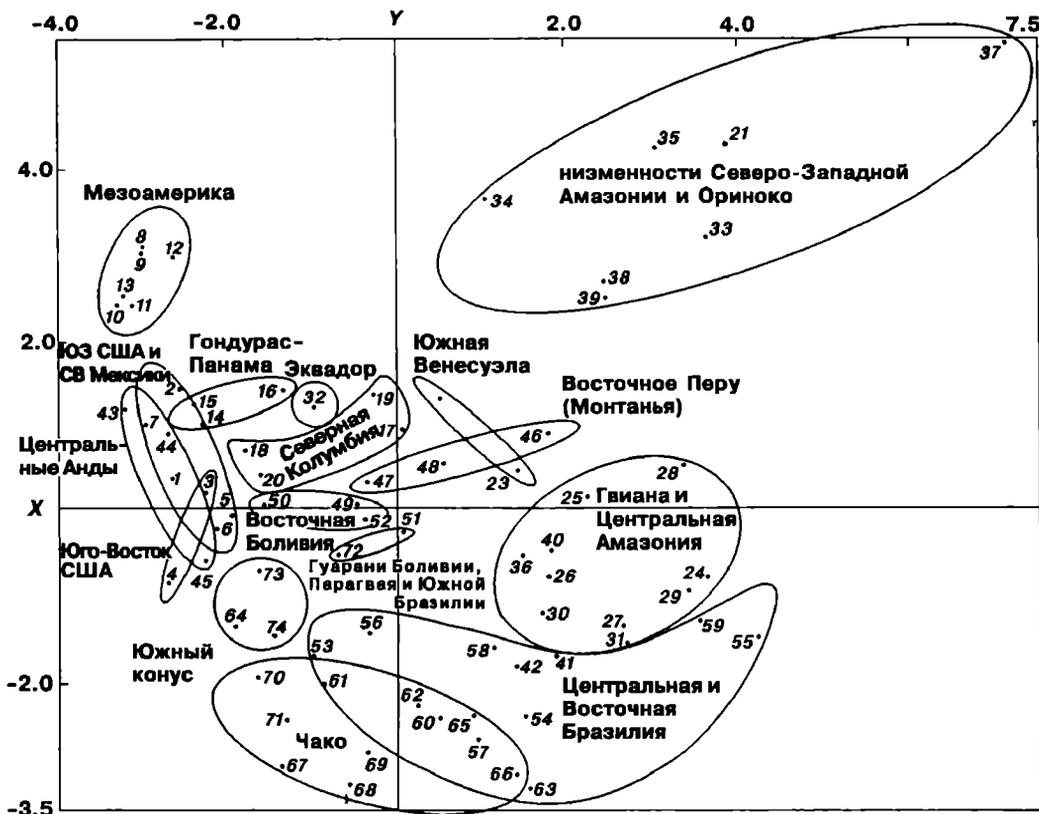


Рис.1. Ареалы проживания индейских народов (обозначены числами), чьи мифологии рассматриваются в статье. Самая северная из изученных пока групп — шошонские народы Большого Бассейна в Скалистых горах (ареал 1); самая южная — огнеземельцы (ареал 74). Белые участки — ареалы, для которых мифы неизвестны.

Рис.2. Результаты статистической обработки встречаемости мотивов в индейских мифах методом анализа главных компонент. Нумерация точек соответствует ареалам на рис.1. Положение точек в системе координат определяется соотношением двух наиболее важных компонент —  $x$  и  $y$ . Заметна близость всех мифологий при тихоокеанского пояса от Скалистых гор до Огненной Земли.



искаженные результаты. Чтобы уменьшить вероятность ошибок, желательно использовать параллельно несколько разных методов и программ.

Готовя базу данных для статистической обработки, мы распределили исследованные индейские мифологемы по 74 ареальным группам. Соединяя в одну группу несколько племенных традиций, мы стремились сделать единицы исследования более или менее равноценными по количеству доступного материала, но при этом не группировать вместе этносы с заведомо разной культурой (рис.1). Составленная в процессе работы таблица встречаемости сюжетов по ареалам была вначале обработана методом анализа главных компонент (программа А.Б.Ястребова). Этот метод предназначен прежде всего для исследования переменных величин, в то время как в нашем случае величины имеют лишь два значения — 1 или 0

(мотив либо есть, либо отсутствует). Тем не менее анализом главных компонент достаточно эффективно пользуются биологи, сталкивающиеся с похожими задачами при сравнении растительных и животных сообществ. На рис.2 представлены результаты сочетания первых двух компонент (x и y), а на рис.3 — изменения по ареалам числового показателя третьей по важности компоненты (z). Каждая из указанных компонент отражает общность определенных групп мотивов.

Рассмотрим, какой исторический смысл имеет полученная картина.

#### СЛЕДЫ ДРЕВНИХ МИГРАЦИЙ?

Сразу же подчеркнем: все использованные методики однозначно свидетельствуют как против теории хаотического распространения мифологем в результате их случайного,

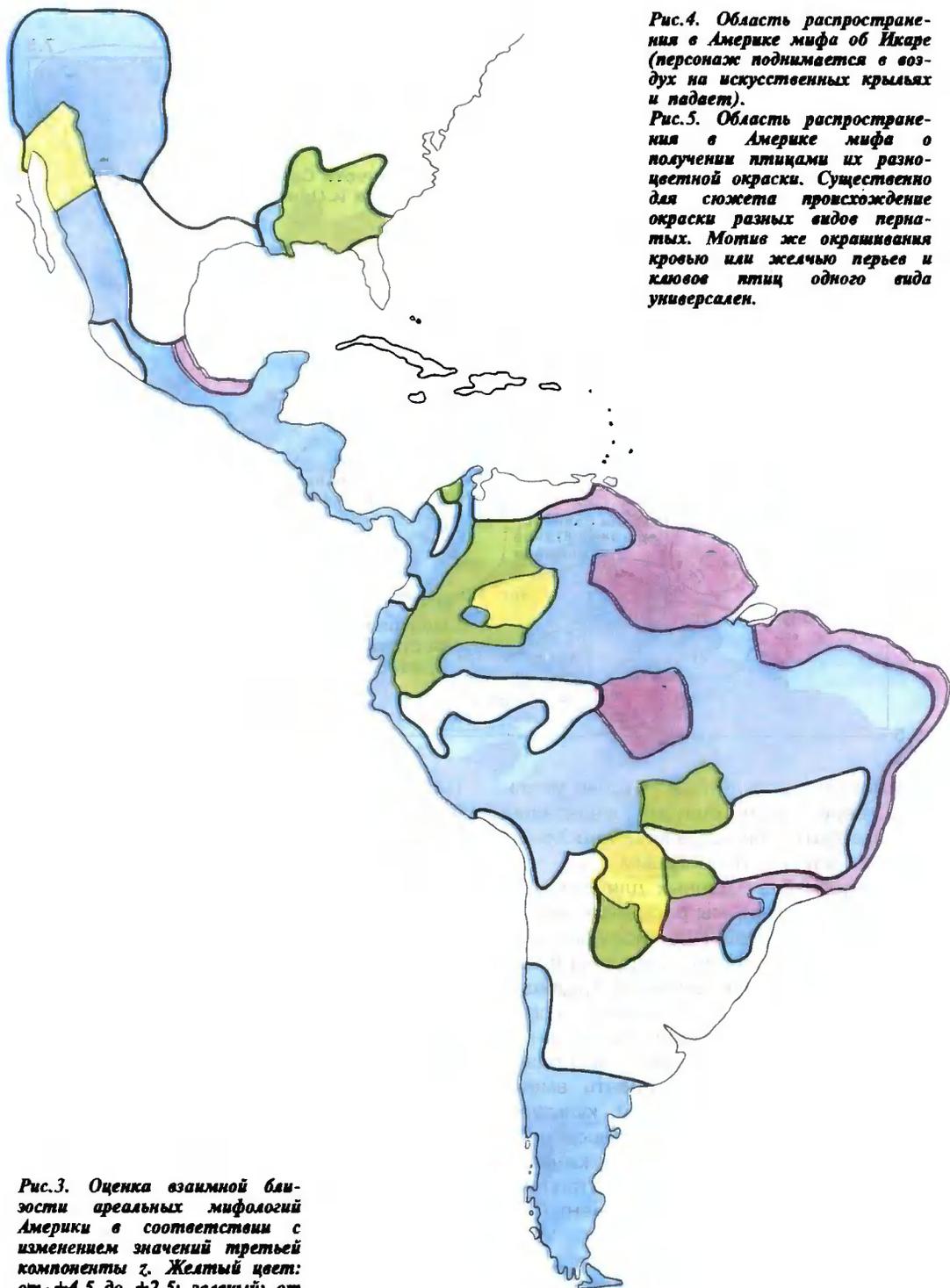
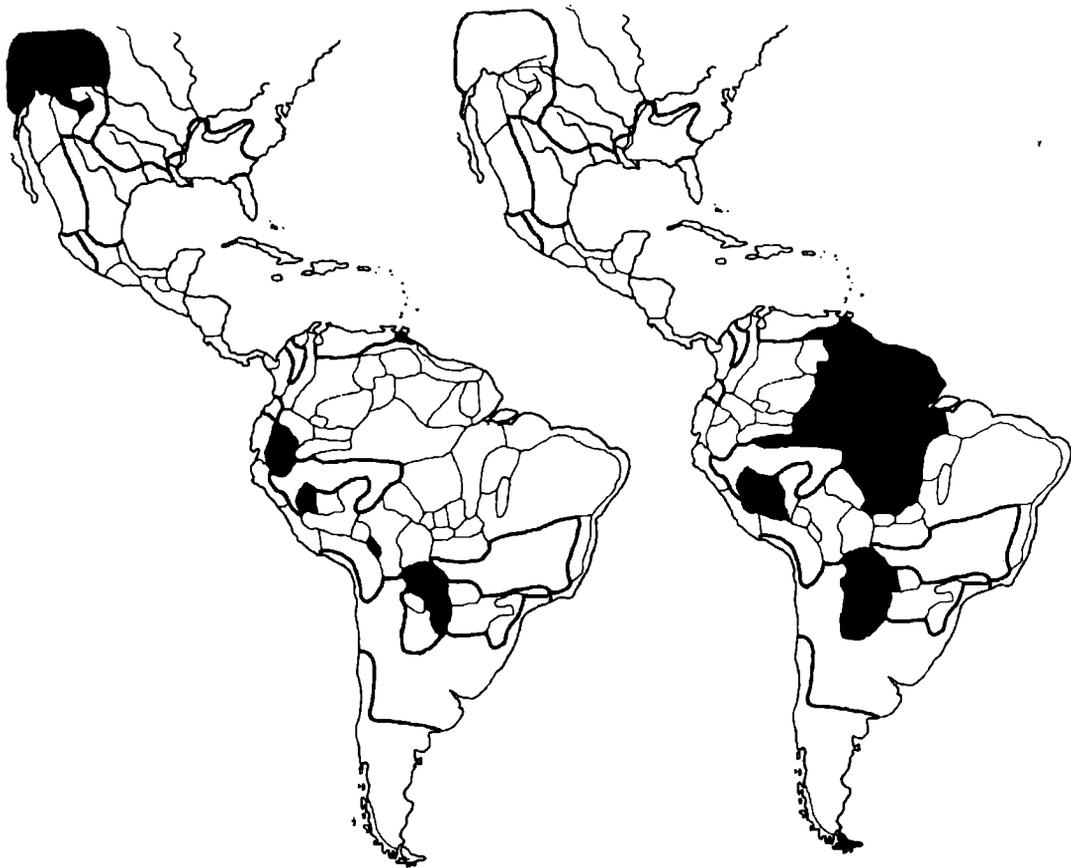


Рис.3. Оценка взаимной близости ареальных мифологий Америки в соответствии с изменением значений третьей компоненты  $\chi$ . Желтый цвет: от +4.5 до +2.5; зеленый: от +2.5 до +0.5; голубой: от +0.5 до -1.5; фиолетовый: от -1.5 до -3.5.

Рис.4. Область распространения в Америке мифа об Икаре (персонаж поднимается в воздух на искусственных крыльях и падает).

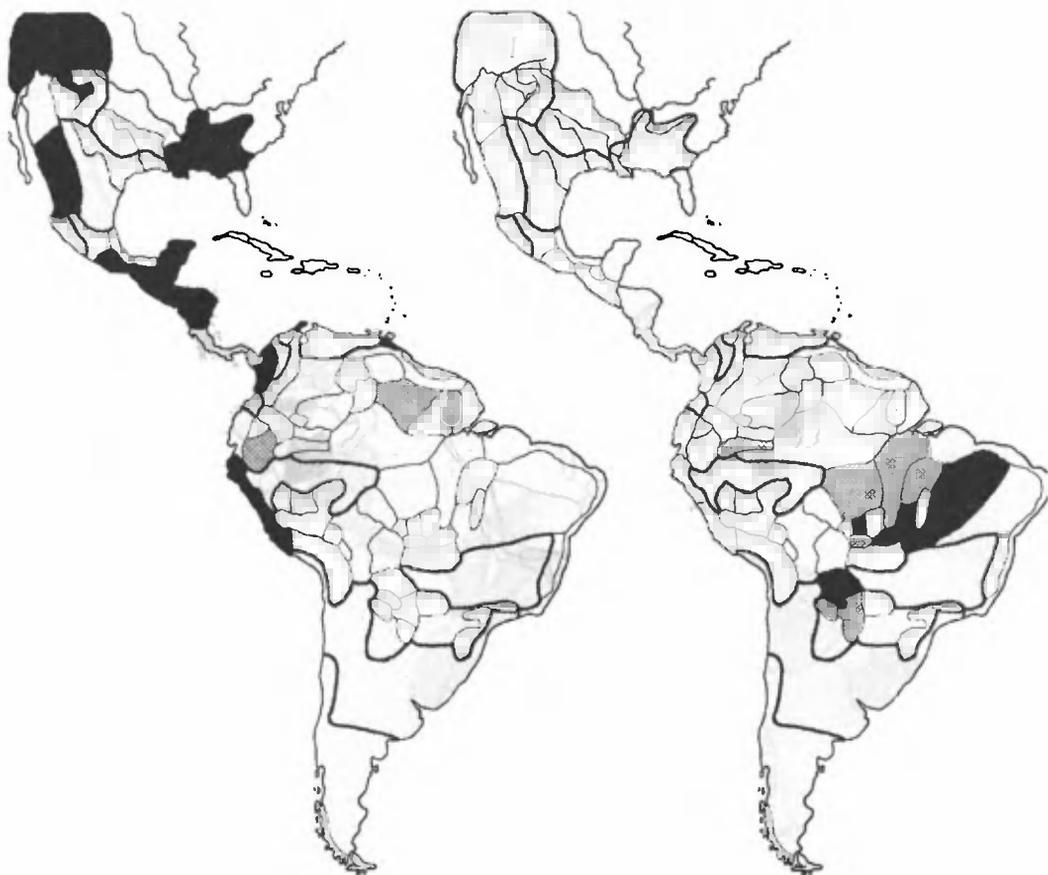
Рис.5. Область распространения в Америке мифа о получении птицами их разноцветной окраски. Существенно для сюжета происхождение окраски разных видов пернатых. Мотив же окрашивания кровью или желчью перьев и клювов птиц одного вида универсален.



спонтанного возникновения, так и против их жесткой связи с природно-ландшафтными и историко-этнографическими областями (чего следовало ожидать, если бы определенные мифы легко возникали при наличии соответствующих условий). Те или иные мифологемы неизменно концентрируются в пределах ограниченных территорий, однако сами эти территории ни в культурном, ни в природном отношениях неоднородны.

Вот несколько примеров. На рис.4—7 показаны области распространения четырех мифологем: **Икар** (персонаж летает на искусственных крыльях и падает); **происхождение окраски птиц** (целостность определенного персонажа нарушена; например, человек или какое-либо животное

ранены или убиты, и тогда различные птицы окрашиваются в цвет крови, желчи и т.п., приобретая разноцветное оперение); **рогатый змей**; **нога-копье** (человек лишается ступни ноги, заостряет берцовую кость и действует ею как кинжалом или копьем). Область распространения первого мифа на рис.4 пятнами тянется вдоль восточного склона Анд, а в Северной Америке охватывает ее западные районы. Миф об окраске птиц — чисто южноамериканский, известный от Гвианы до Огненной Земли, но отсутствующий как в Восточной Бразилии, так и на северо-западе Амазонии (рис.5). Образ змея с рогами характерен для Северной и Центральной Америки и лишь немного «просачивается» в Южную, где известен главным образом



*Рис.6. Область распространения в Америке образа рогатого змея. Темный тон: рогатый змей на изображениях и в повествовательных текстах; светлый тон: змей с чертами млекопитающего (ноги, шерсть, уши), но без рогов.*

*Рис.7. Область распространения в Южной Америке мифа о человеке, который заострил себе ногу и пользуется ею как кинжалом или копьем. Темный тон: персонаж отжигает ступню в костре; светлый тон: персонаж лишается ступни по другой причине.*

по изображениям (рис.6). Последний из четырех сюжетов характерен для Восточной Бразилии и Чако; индейцы Верхней Амазонки и устья Ориноко составляют изолированные анклавы (рис.7). Кроме того, миф о **ногекопье** встречается в североамериканских прериях (на наших картах этот ареал еще не обозначен).

Даже читатель, не интересующийся специально американистикой, легко придет к выводу, что зоны распространения четырех указанных мифологем абсолютно случайны с точки

зрения как географии, так и этнографии. Можно, конечно, попробовать доказать, что каждый из перечисленных мифических образов и сюжетов идеально соответствует мировоззрению и культуре именно того народа, в фольклоре которого он зафиксирован тем или иным специалистом. Этнографическая литература полна подобными рассуждениями. Ни одно из них не объясняет, однако, почему **весь** ареал распространения мифа демонстрирует ту, а не иную его конфигурацию.

Этнография и не способна пред-

ложить таких объяснений. Картина скорее соответствует либо постепенному дрейфу мифологем на протяжении тысячелетий под влиянием множества разнообразных факторов, либо распространению мифов в ходе заселения Нового Света. В последнем случае принесенные первыми переселенцами мифы должны были стать фундаментом, который составил основу всех более поздних мифов в пределах тех или иных ареалов. Мы вовсе не исключаем возможность иных объяснений полученной картины, однако гипотеза различных миграционных волн или потоков кажется пока наиболее простой и убедительной.

Вернемся к рис.2. На нем сильнее всего по богатству и разнообразию мифов отличаются от других восточные районы Колумбии и Эквадора: их фольклорное своеобразие вызвано наличием здесь как сюжетов, не известных в других местах, так и разнонаправленностью связей.

Другая тенденция не бросается сразу в глаза, но именно она особенно значима. Оказывается, что мифология Центральной Америки и Анд весьма близки мифологии индейцев Южного Конуса — огнеземельцев, патагонцев, арауканов, а также племен южной части приатлантической Бразилии, сейчас практически вымерших. Хотя от Панамского перешейка до Огненной Земли почти вдвое дальше, чем до Центральной Бразилии (см. рис.1), в мифах народов Центральной Америки обнаруживается больше общего с мифами Патагонии, чем Бразильского нагорья.

Данный вывод подтверждается и детализируется результатами применения компьютерных программ Б.А.Козинцева. В этом случае таблица распределения сюжетов по ареалам была сперва обработана по формуле Жаккара (попарное сравнение ареалов), а затем матрица показателей различия подвергнута так называемому многомерному неметрическому шкалированию. В этой программе главное значение для оценки взаимной близости сравниваемых единиц имеет не

удаленность соответствующих точек в системе координат, а их расположение относительно центра координат, т.е. вектор. Чтобы представить полученные результаты нагляднее, мы разделили подобный круг векторов на четыре равных сектора; на картах (рис.8а,б,с) мифологические ареалы, попавшие в пределы каждого из секторов, закрашены определенным цветом — красным, желтым, фиолетовым и зеленым. Каждый сектор охватывает 90° круга, причем границы эти, разумеется, условны, внося несуществующую дискретность в плавную последовательность векторов. Поэтому мы предлагаем три варианта деления, как бы рассматривая картину под тремя равно возможными углами зрения. Это позволяет лучше заметить то одни, то другие межареальные связи.

Для специалиста здесь открывается масса интереснейших обстоятельств. Например, ясно подтверждается восточное (гвианское) происхождение мифов индейцев карибона в Колумбии, сохранивших свои традиции после переселения в Северо-Западную Амазонию (рис.8с, зеленый цвет). Заметны контакты индейцев пуэбло на юго-западе США с Мезоамерикой (рис.8б,с, красный цвет). Проступают особо тесные связи мифологии обитателей штата Оахака на юге Мексики с мифологией индейцев побережья и горных районов Перу (рис.8а, красный цвет). Становится ясно, что мифология племен каража и тапирапе на Бразильском нагорье обнаруживает связи с мифологией Парагвая и Восточной Боливии (рис.8а, фиолетовый цвет). Доказывается особая близость мифов индейцев крайнего северо-востока Колумбии, коги и гуахино, к мифам народов Центральной Америки и Центральных Анд (рис.8а,б, красный цвет). Эти и другие тенденции, даже если их удавалось раньше интуитивно почувствовать, оставались вне поля зрения науки, поскольку без статистической обработки данных реальность и значимость подобных связей трудно было обосновать.

Наиболее же существенно то, что

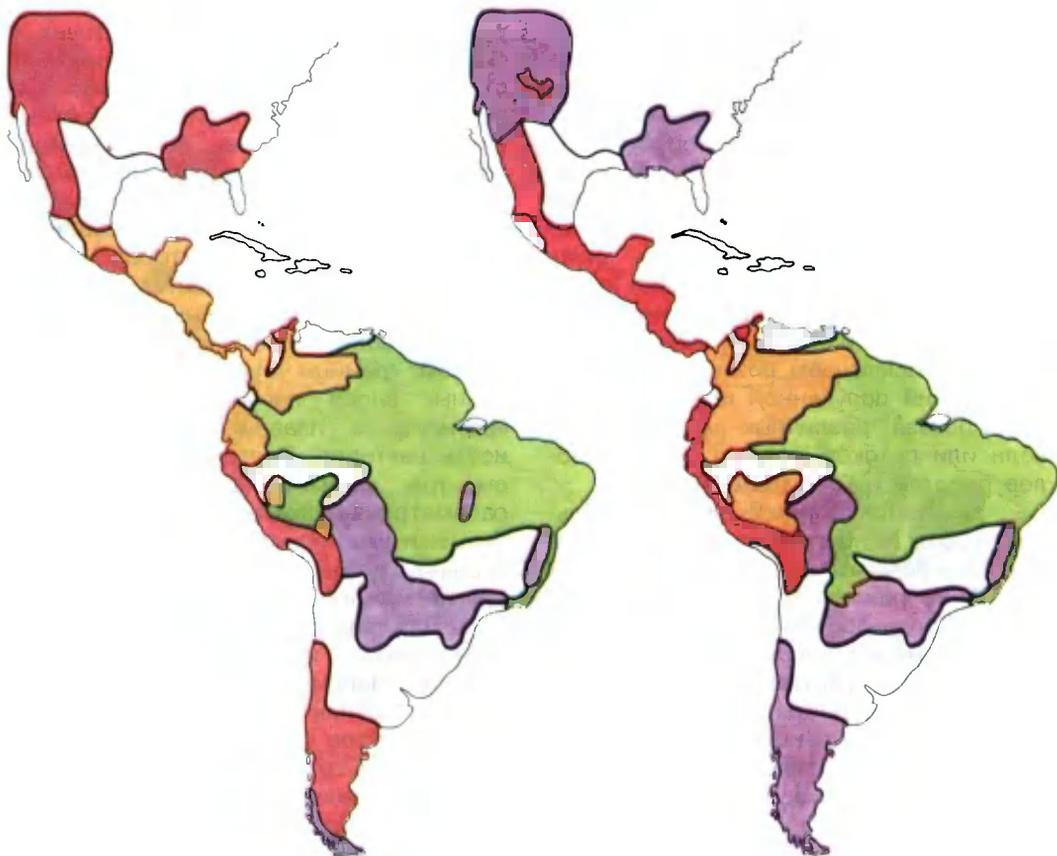


Рис. 8а, б, с. На этих трех картах представлена оценка ареальных мифологий Америки в соответствии с векторами значений, полученных методом многомерного неметрического шкалирования.

мифы Восточной и Центральной Бразилии, при всех углах рассмотрения, сохраняют свою обособленность, а мифы Северной и Центральной Америки, северо-запада, запада и юга Южной Америки оказываются ближе друг другу. Наглядно это выражается в том, что на трех картах одни и те же ареалы в пределах притихоокеанского пояса попадают то в красный, то в желтый, то в фиолетовый сектор, в то время как Восточная и Центральная Бразилия неизменно окрашена в зеленый цвет.

Можно предположить, что восток и запад Южной Америки изначально заселяли разные группы племен, при-

чем «бразильцы» прошли раньше, оставив после себя в Центральной Америке меньше следов, чем «андо-патагонцы». Гипотеза об особом происхождении восточно- и центрально-бразильских популяций (либо об их отделении от остальных южноамериканских в начале заселения континента) неплохо согласуется с данными археологии и лингвистики. В частности, речь идет о предположении А.Родригеса (крупнейшего специалиста по языкам Южной Америки) о наличии связей между всеми языковыми семьями востока континента, а также о распространении только на севере, западе и юге Южной Америки тех



культур 9—8-го тысячелетий до н.э., создатели которых употребляли своеобразные каменные наконечники дротиков, имевшие в основании желобок.

Вернемся еще раз к анализу главных компонент. Как уже отмечено, на рис.3 ареалы окрашены в зависимости от значений третьей компоненты (т.е. сходства определенной группы сюжетов). На общем голубом фоне выделяются желтые и фиолетовые пятна. Первые — это мифологии Чако, Северо-Западной Амазонии (особенно территории Ваупес на юго-востоке Колумбии) и Северо-Западной Мексики с сопредельными районами США. Вторые — это в основном мифы карибов и тупи-гуарани, обитавших вдоль Атлантического побережья Южной Америки. «Фиолетовый» мифологический комплекс, видимо, является одной из составляющих «бразильского»

комплекса на рис.8. «Желтый» комплекс связан скорее с притихоокеанской зоной. «Фиолетовый» комплекс соответствует восточноамазонским сюжетам в мифах индейцев гуарани на юге Бразилии и в Парагвае (то, что гуарани происходят из Амазонии, известно и по другим данным). При этом у гуарани есть и мифы, унаследованные от местного субстрата, характерного для юго-западных областей Южной Америки.

Обработка материалов, относящихся к индейцам Северной Америки, начата нами недавно, так что в единую систему включены лишь данные по юго-западу и юго-востоку США. Те и другие демонстрируют значительно большую близость к мифам тихоокеанского пояса Южной Америки, чем к мифам Центральной и Восточной Бразилии. Не исключено, однако, что при обработке данных по прериям и северо-западу США выявятся либо целые ареалы с «бразильской» мифологией, либо отдельные комплексы сюжетов, характерных для востока Южной Америки.

Есть данные в пользу того, что вслед за первыми мигрантами в Южную Америку продолжали проникать новые группы переселенцев. В мифологии их влияние ощущается не далее Гвианы, Северо-Западной Амазонии, Чако и Центрального Чили. Именно в этих областях зафиксированы те мифы, которые известны также в Северной Америке и Мексике. Особенно любопытно, что параллели ряду мотивов, характерных для запада и севера Южно-Американского континента, представлены в Восточной Азии и Сибири, где восточнобразильским мотивам аналогий как раз нет. Это мифы о **рождении женщины солнца или огня** и (в ряде случаев) ее смерти при этом (то же — в Японии); о **выманивании спрятанного солнца** (ближайшая параллель опять же в Японии); о **появлении одновременно нескольких солнц** (то же — в Китае); о **появлении земли из кусочка твердой субстанции на поверхности вод** (то же — в Сибири и на Урале, у

некоторых североамериканских племен) и т.д.

Зато в Восточной Бразилии богаче всего представлен сюжет **разорителя птичьих гнезд**, который в Старом Свете зафиксирован от Средиземноморья до Саян, но не известен в Восточной Азии.

Как на Огненной Земле, так и в Восточной Бразилии есть параллели с мифами австралийских аборигенов. Соответствующие мотивы в основном касаются **нарушения половых и пищевых запретов**, аберрантных форм поведения (мужской орган, ползающий под землей к женщинам; младенец, видящий гениталии матери и просящий у нее это; неудачливый охотник, срезающий мясо со своих ног и дающий его другим вместо дичи). Противоположный полюс — развитый эпический цикл о **героях-мстителях**, который индейцам Бразильского нагорья и огнеземельцам известен лишь в упрощенном виде, но характерен для народов Амазонии, Гвианы, Мезоамерики, Анд. В Старом Свете миф о мстителях лежит в основе большинства великих эпических традиций — от Западной Европы до Индии и от Египта (история Осириса, Сета и Гора) до Центральной Азии, но отсутствует в Австралии. В Китае и Океании его элементы, похоже, есть, но того значения, какое они имеют у индоевропейских

и тюрко-монгольских народов, там они не получили.

\* \* \*

Нет сомнений, что по мере усовершенствования методики статистической обработки, заполнения остающихся лакун в материале и подключения новых территорий к единой системе мотивов удастся обнаружить еще не известные межареальные связи. Наша задача в том, чтобы сделать сравнительную мифологию таким же полноценным источником информации о прошлом, как археология, лигвистика, антропология и популяционная генетика. На этом пути немало проблем, многих из них мы здесь не касались. В частности, мы не объяснили, по каким принципам ведется отбор мотивов, какие сюжеты и почему устойчивы, а какие эфемерны, откуда в конечном итоге взялись мифологемы, если их спонтанное возникновение маловероятно. Все это может быть предметом отдельного разговора.

На разных этапах проект получил поддержку со стороны IREX (International Research & Exchange Board, Washington), Культурной инициативы (Фонд Сороса, грант ZZ 4000/005) и Российского гуманитарного научного фонда (грант 97-01-00085). Особенно благодарю А.Г.Козинцева за разную помощь в работе.

## КОРОТКО

● Австралия не без оснований считается древнейшим и самым спокойным материком: единственный, хотя и слабоактивный вулкан на всю эту часть света — гора Биг-Бен, возвышающаяся посреди о.Херд в Индийском океане (53°ю.ш., 74°в.д., территория Австра-

лии). Однако в марте 1997 г. с борта научно-исследовательского судна «Aurora Australis», проходившего в 30 км от о.Херд, заметили облака дыма, вздымающиеся на огромную высоту. Оказалось, что задымила давно «спавшая» гора на о.Макдональд, также принадлежащем Австралии.

Таким образом, хотя обе огнедышащие горы лежат более чем в 4 тыс. км от континента, австралийцы могут называть себя владельцами двух действующих вулканов.

New Scientist. 1997. V.154. № 2077. P.13 (Великобритания).

# Фракталы: от узоров к движению

Р. Р. Нигматуллин, М. Н. Овчинников, Я. Е. Рябов



*Равиль Рашидович Нигматуллин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики Казанского государственного университета. Автор более 60 работ. Область научных интересов: статистическая физика равновесных и неравновесных явлений, процессы релаксации и переноса в средах с фрактальной геометрией. Выпустил книгу в соавторстве с Л. Ниванен (L. Nivanen) и А. Ле Меом (A. Le Mehaute) «De L'irreversibilité du Temps en Geometrie Fractale» (Paris, 1997).*



*Марат Николаевич Овчинников, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же университета. Круг научных интересов — нелинейные динамические системы, акустика, подземная гидродинамика.*

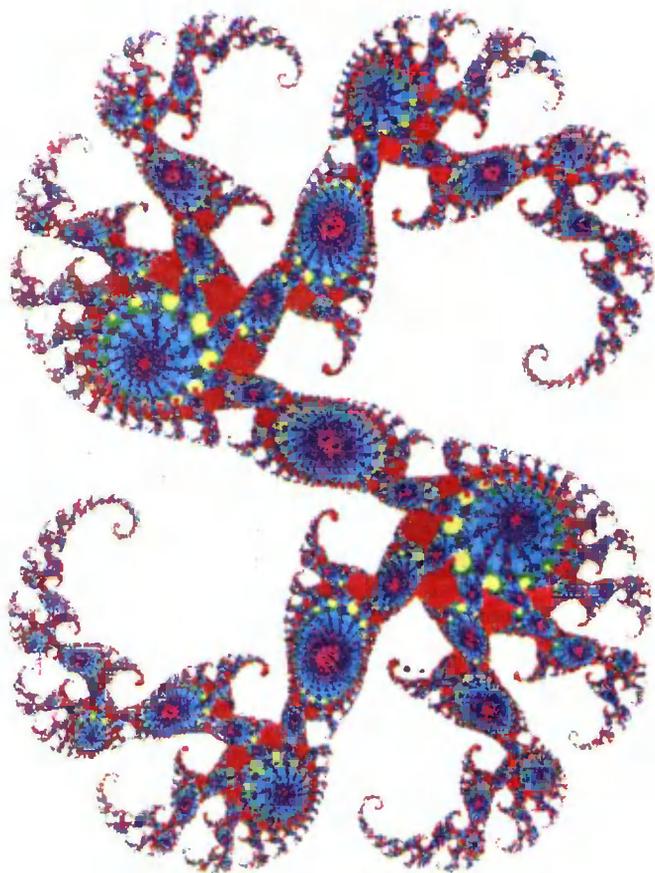


*Ярослав Евгеньевич Рябов, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник лаборатории подземной гидродинамики Института механики и машиностроения Казанского научного центра РАН. Основной круг научных интересов — фрактальная геометрия и ее связь с дифференциальными уравнениями физических процессов, содержащими дробные производные.*

**С**ЕГОДНЯ вряд ли можно найти человека, занимающегося или интересующегося наукой, который не слышал бы о фракталах. При упоминании о них живо представляешь себе великолепные, граничащие с произведениями искусства изображения фрактальных множеств, напоминающие то дерево или кустарник, то сетку трещин на асфальте или морозные узоры на окне, то острова в океане или облака на небе, то вообще что-то такое, чему трудно подобрать сравнение. Глядя на них трудно поверить, что это — не

творение природы и за ними скрываются математические формулы. Фракталы поразительно напоминают объекты живой и неживой природы вокруг нас (рис.1). Они — словно горные хребты на горизонте, цветы из наших садов либо диковинные рыбы. Словом, они — «как настоящие». Скорее всего именно поэтому, однажды увидев, человек уже не может их забыть.

История возникновения интереса к изучению фракталов может служить примером взаимопроникновения идей абстрактных и естественных наук. Началом этого процесса принято считать появление в 1982 г. книги американского математика Б.Ман-



**Рис.1. Фрактальное множество Жюлиа.**

дельброта<sup>1</sup>, где содержится огромное количество изображений различных фрактальных множеств и приведены доказательства существования фрактальных объектов в природе. Справедливости ради следует отметить, что большинство фрактальных множеств, о которых рассказывается в книге, были открыты на рубеже XIX—XX вв. другими известными математиками, в частности Дж. Пеано, Г. Кантором, В. Серпинским, Г. Жюлиа<sup>2</sup>. До Мандельброта было введено и используемое во фрактальной геометрии понятие дробной размерности (размерность Хаусдорфа—Безикевича), но тогда каждое

из множеств воспринималось как исключение. Основная заслуга ученого состоит в том, что около 1980 г. он выявил роль фракталов как объектов не только абстрактных, но и естественных наук.

После выхода упомянутой книги началась настоящая «фрактальная лихорадка». Многим удалось по-новому взглянуть на объекты своих исследований, и оказалось, что они уже долгие годы изучают фракталы. Одна за другой стали появляться научные работы, где сообщалось о нахождении фрактальных объектов. Исследовались поверхности разломов твердых образцов, процессы агрегации кластеров и адсорбции, форма облаков и облачных зон над поверхностью Земли, шероховатость минералов, динамика экономических процессов, рост биологических

<sup>1</sup> Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco, 1982.

<sup>2</sup> См.: Пайтген Х.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. М., 1993.

популяций, волны в океане. В геологии и картографии, в физике и биологии — везде были обнаружены фракталы. Однако, удовлетворив первое любопытство и удостоверившись, что фракталы — не просто красивая математическая игрушка, научный мир несколько успокоился и принялся за их систематическое изучение.

Сегодня исследование математических аспектов фрактальной теории, а также методов описания природных процессов и явлений с использованием идей теории фракталов — самостоятельная область науки. Уже сейчас она столь широка, что намечается разделение ее на несколько более узких областей. В статье мы, конечно, не сможем охватить все эти области, но попытаемся изложить наше понимание места науки о фракталах в общей научной картине мира и возможных направлений развития фрактальной теории.

#### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ

Ключевые понятия теории фракталов — дробная (фрактальная) размерность и самоподобие (масштабная инвариантность). Существуют их математически строгие определения. Но прежде чем перейти к их обсуждению, хотелось бы, чтобы читатели их

«почувствовали». Поэтому начнем по порядку, т.е. с обычных объектов с целой размерностью.

Хорошо известно, что точка имеет размерность, равную нулю, «обычная» кривая на плоскости или в пространстве — размерность, равную единице, «обычная» поверхность — двумерна, а любое объемное тело — трехмерно. Во всех перечисленных случаях размерность равна числу независимых переменных, необходимых для того, чтобы задать точку на рассматриваемом объекте. Однако смысл понятия «размерность» шире. Оно характеризует более «тонкие» топологические свойства объектов и совпадает с числом независимых переменных, необходимых для описания объекта только в частных случаях.

Размерность любого объекта может быть вычислена с помощью простой процедуры, напоминающей измерение расстояний на карте с помощью циркуля. Измерим, например, размерность линии (рис.2). Для этого возьмем отрезок прямой длиной  $l_0$  и посмотрим, сколько таких отрезков необходимо для того, чтобы покрыть всю кривую. В нашем случае получилось, что вдоль нее укладываются три отрезка ( $N_0=3$ ). Уменьшим длину отрезка, которым мы измеряем кривую. Пусть  $l_1=l_0/2$ . Теперь вдоль кривой укладываются уже  $N_1=8$  отрезков. Будем продолжать дробление и проследим, как быстро растет число

Рис.2. Процедура измерения размерности кривой.

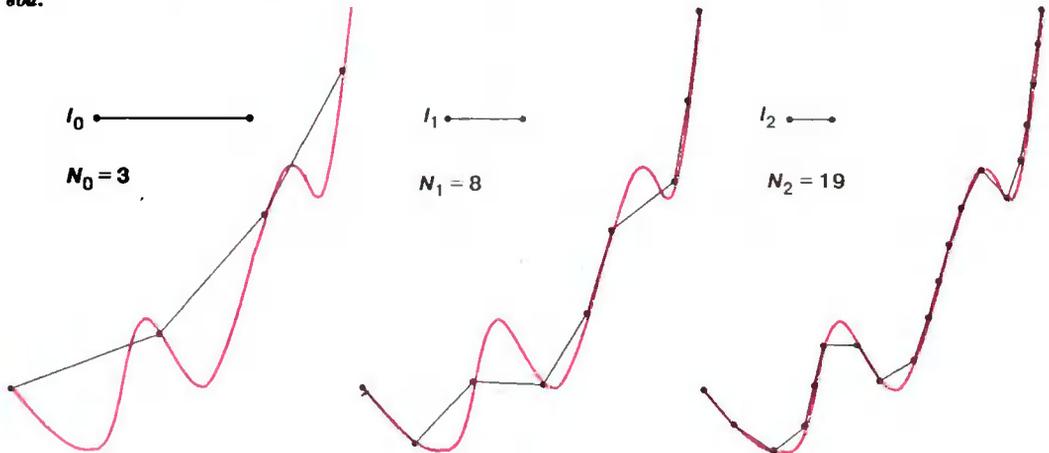
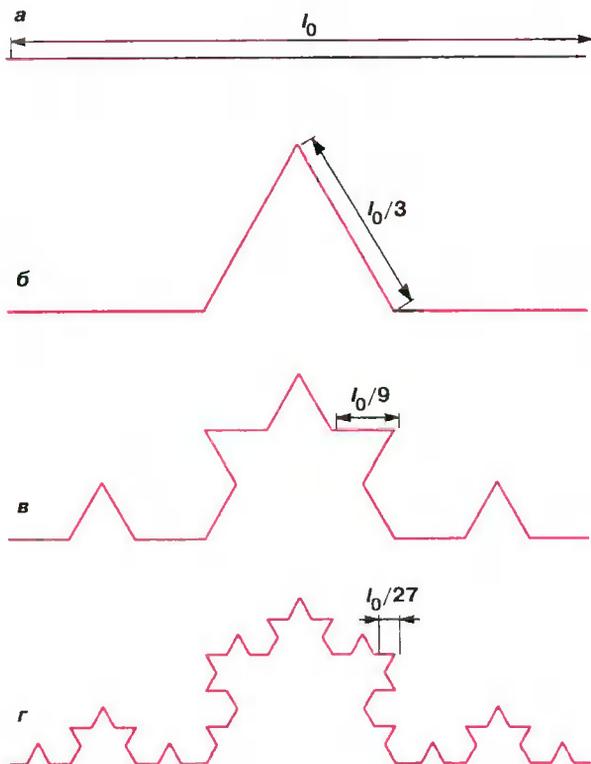


Рис.3. Построение кривой Кох.



отрезков  $N_n$  при уменьшении  $l_n$ . Для этого достаточно построить зависимость  $N_n$  от  $1/l_n$ . Пока  $1/l_n$  достаточно мало,  $N_n$  довольно быстро увеличивается с ростом  $1/l_n$ , но затем — при больших значениях  $1/l_n$  — устанавливается асимптотическое поведение, когда  $N_n$  пропорционально первой степени  $1/l_n$  ( $N_n \sim 1/l_n$ ). Подобное степенное асимптотическое поведение наблюдается для всех кривых, причем  $N_n$  пропорционально первой степени  $1/l_n$ . Этот показатель степени и называется размерностью фигуры. Так, для обычных поверхностей  $N_n \sim (1/l_n)^2$ , для объемных тел  $N_n \sim (1/l_n)^3$ .

Однако существуют объекты, для которых при той же процедуре измерения показатели степени в асимптотических зависимостях  $N_n$  от  $1/l_n$  не являются целыми числами:  $N_n \sim (1/l_n)^D$ . В этих случаях говорят о дробной размерности:  $D_f = \ln N_n / \ln(1/l_n)$ .

Рассмотрим простейший пример кривой, имеющей дробную размерность, — кривую Кох (рис.3). Она была открыта Гельге фон Кох (1904) и строится путем повторения простой процедуры. Пусть имеется отрезок прямой длиной  $l_0$  (рис.3,а). Разделим его на три равные части и заменим среднюю часть ломаной линией из двух сторон равнобедренного треугольника, каждая длиной  $l_0/3$  (рис.3,б). Далее подобная процедура выполняется над каждым из отрезков, из которых состоит кривая Кох (рис.3,в,г). При бесконечном повторении этой процедуры и возникает кривая, имеющая дробную размерность, вычислить которую довольно просто. Сначала кривая имеет длину  $l_0$  и состоит из  $N_0=1$  (для покрытия кривой необходим один элемент длиной  $l_0$ ). На первом этапе построения кривая состоит из  $N_1=4$  элементов

длиной  $l_1=l_0/3$ . На втором этапе построения  $N_2=16$ ,  $l_2=l_0/9$ , на  $n$ -ом этапе  $N_n=4^n$ ,  $l_n=l_0/3^n$ . Таким образом, для кривой Кох

$$D' = \ln 4 / \ln 3 = 1.26186.$$

Кривая Кох — один из самых первых примеров фрактальных объектов, с которыми авторы популярных статей знакомят читателей. Мы последовали этой традиции не случайно. Кривая не только проста по своей структуре, но, что более важно, с ее помощью можно легко продемонстрировать еще одно фундаментальное свойство фрактальных объектов — самоподобие. Процедура построения кривой такова, что каждый элемент, ее составляющий, есть уменьшенная копия самой кривой (см. рис.3). Это обстоятельство настолько удивительно, что в 1905 г. итальянский математик Э.Чезаро о кривой Кох написал так: «Если бы она была одарена жизнью, то можно было бы лишить ее жизни, только уничтожив кривую в целом. В противном случае она возрождалась бы снова и снова из глубины своих треугольников, как это делает вся жизнь во Вселенной». Свойство самоподобия — масштабной инвариантности — является общим для всех фракталов. Лучше всего его можно продемонстрировать при построении рекуррентных фракталов таким же образом, как мы это сделали с помощью кривой Кох.

В более общем случае легко себе представить, что рекуррентный фрактал строится в результате применения не одной, а двух или нескольких рекуррентных процедур. Для описания таких фракталов разработаны специальные методы, например модель со случайными значениями масштаба<sup>3</sup>. В этих случаях говорят о статистическом самоподобии.

Заканчивая обсуждение основных свойств фракталов, отметим одну интересную, на наш взгляд, аналогию. Область применения преобразований подобия, частный случай которых —

рекуррентные процедуры, чрезвычайно широка, но одно из наиболее важных их приложений — современная теория фазовых переходов. В этой теории основным инструментом изучения поведения систем вблизи фазового перехода служит метод преобразований подобия, который называется в рамках этой теории методом ренормализационной группы. Он основывается на предположении о самоподобии операторов Гамильтона, описывающих полную энергию системы. Поэтому было бы чрезвычайно интересно попытаться выяснить: может ли фрактальная геометрия системы послужить причиной такого самоподобия гамильтониана системы?

#### ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ФРАКТАЛЫ

Выше было показано, как довольно простые математические алгоритмы могут создавать сложные топологические структуры с дробной размерностью. Несмотря на то, что эти объекты могут оказаться поразительно похожими на картины окружающей нас действительности, у читателя может остаться чувство, что сами алгоритмы и соответственно порождаемые ими образы не имеют непосредственного отношения к природе, точнее — к математическим моделям, описывающим природные процессы. И здесь уместно задать вопрос: а можно ли получить фрактальные картины из физических уравнений? Другими словами: могут ли привычные нам уравнения приводить к появлению фрактальных структур? Ответ на этот вопрос — положительный и связан прежде всего с одной из интенсивно развивающихся в последние 40 лет областей математической физики — динамическим хаосом<sup>4</sup>.

В системах с динамическим хаосом детерминированные уравнения приводят к хаотическим решениям, хаотическим в том смысле, что в них экспоненциально быстро расходятся

<sup>3</sup> Синергетика и фракталы в материаловедении. М., 1994.

<sup>4</sup> Пригожин И.Р. От классического хаоса к квантовому // Природа. 1993. № 12. С.13—23.

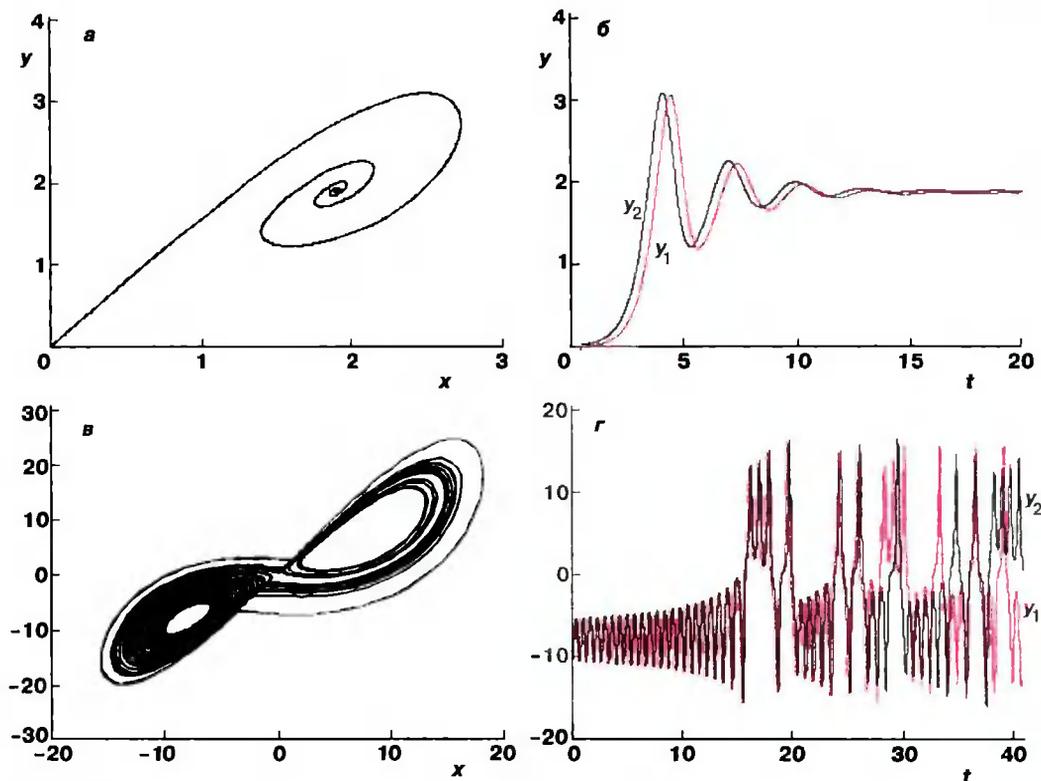


Рис.4. Динамика системы Лоренца: а,б — регулярный случай, в,г — хаотическое поведение.

близлежащие первоначально траектории и возникает неустойчивость. Таким образом, малая неточность при задании начальных условий настолько сильно влияет на динамику системы, что ее поведение становится фактически непредсказуемым, так как обычно мы задаем начальные условия в динамических задачах с некоторой погрешностью. При этом оказалось, что фракталы как геометрические понятия могут быть успешно применены при описании траекторий хаотических систем. Более того, можно сказать, что фракталы суть геометрические образы хаоса.

Рассмотрим два примера систем, которые уже стали классическими при описании динамического хаоса.

В начале 60-х годов метеоролог

Е.Лоренц<sup>5</sup>, изучая «погоду», получил для описания процессов конвекции упрощенную систему уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -ax + ay, \\ \dot{y} &= -xz + rx - y, \\ \dot{z} &= xy - bz. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $x, y, z$  — переменные, связанные с профилем температуры и функцией тока конвективных потоков,  $a$  и  $b$  — комплексные параметры, характеризующие среду (теплопроводность, вязкость, плотность и т.п.),  $r$  — внешний управляющий параметр, зависящий от градиента температур. Оказалось, что наборы коэффициентов  $\{a, b, r\}$  имеют критические значения, превышение которых приводит систему (1) к хаотическому поведению.

Примем значения параметров равными  $a=2.5, b=4$  и  $r=1.2$ , а начальные значения координат  $x=0, y=0.01, z=0$  и изобразим [для удобства наблюдения — на плоскости в координатах  $y(t), x(t)$ ] траекторию системы (1)

<sup>5</sup> Lorenz E.N. // J. Atmos. Sci. 1963. V.20. P.130—141.

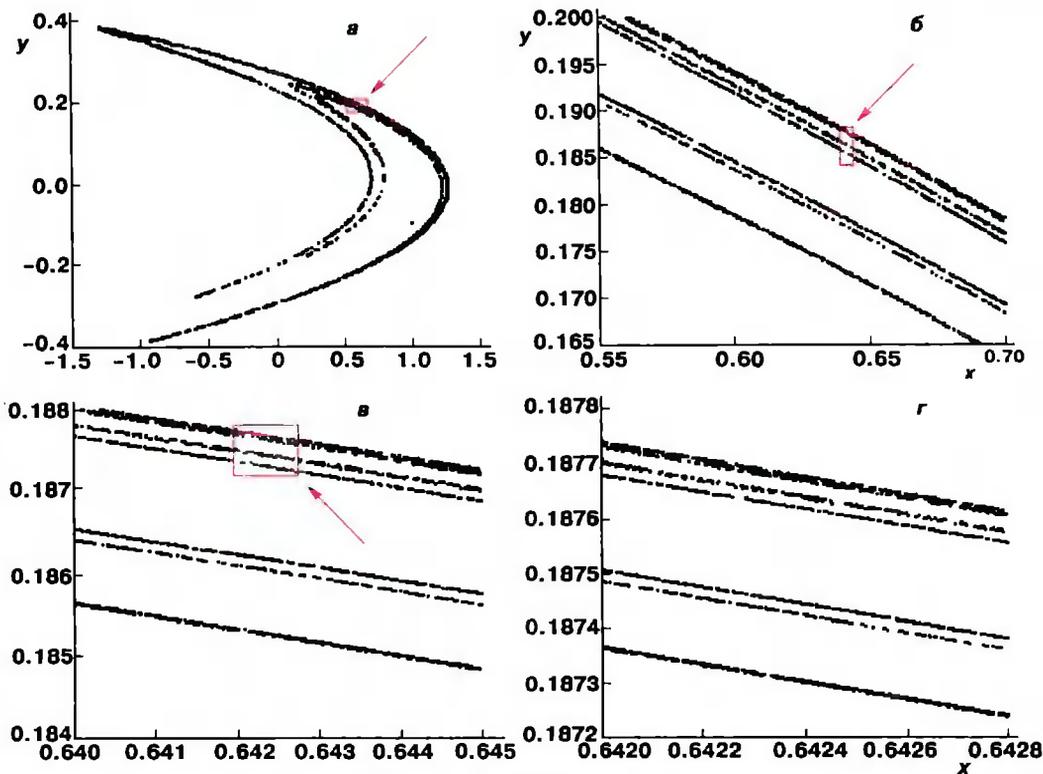


Рис.5. Аттрактор Энона. Последовательное изменение масштаба приводит к самоподобным картинкам.

(рис.4,а). Как можно видеть, траектория, напоминающая спираль, стремится к некоторой точке в пространстве. Если мы возьмем другую начальную точку  $x=0, y=0.02, z=0$ , то траектория движения системы будет носить такой же характер. Зависимости координаты  $y$  от времени показаны на рис.4,б. Легко заметить, что траектории  $y_1(t)$  и  $y_2(t)$ , выходящие из близлежащих точек, «следят» друг за другом, а потом и вовсе сливаются.

Положим теперь следующие значения параметров:  $a=10, b=25$  и  $r=2.68$ , а начальные значения координат:  $x=0, y=0.01, z=0$  и изобразим траекторию системы (рис.4,в). Траектория имеет причудливую форму, изучение ее динамики показывает, что перескок с одной петли на другую происходит случайным образом. Ока-

зывается, она обладает набором свойств, присущих так называемым странным аттракторам. На рис.4,г показана динамика во времени координаты  $y$  для системы с начальными значениями  $\{x=0, y=0.01, z=0\}$  — кривая  $y_1$ , и для системы с начальными значениями  $\{x=0, y=0.02, z=0\}$  — кривая  $y_2$ . Хотя начальные точки находились в пространстве переменных очень близко друг к другу при  $t=0$  ( $\Delta y=0.01$ ), со временем они «разбежались», что иллюстрирует хаотическую динамику поведения системы в этом случае в отличие от предыдущего, когда кривые «сходились». Такие траектории с набором свойств, присущих странным аттракторам, в данном случае можно рассматривать как множество точек с дробной (фрактальной) размерностью  $d=2.06$ , что близко к размерности плоскости, но все же немного больше<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Шустер Х.Г. Детерминированный хаос. М., 1988.

Другим примером является модель (отображение) Энона<sup>7</sup> с дискретным временем:

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= 1 - ax_n^2 + y_n, \\ y_{n+1} &= bx_n.\end{aligned}\quad (2)$$

Здесь  $x_n$  и  $y_n$  — динамические переменные,  $n$  играет роль времени,  $a$  и  $b$  — параметры системы. (Эта модель может быть получена при рассмотрении динамики ротатора с затуханием при воздействии на него периодических толчков.)

Оказалось, что, начиная с некоторых критических значений коэффициентов  $a$  и  $b$ , в системе возникает хаотическая динамика, а сами полученные наборы точек обнаруживают самоподобную структуру (рис.5). На рис.5,а показан весь аттрактор Энона при начальных условиях  $x_0=1.0$ ,  $y_0=-0.1$ . Выделенный на рис.5,а прямоугольник дан в увеличенном виде на рис.5,б. Он как бы состоит из трех групп, каждая из которых содержит три, две и одну линии. Рассмотрим теперь в увеличенном виде верхнюю полосу из трех линий (увеличенный прямоугольник на рис.5,б представлен на рис.5,в). Мы вновь получили картину из трех полос! Еще раз повторив процедуру увеличения выделенных прямоугольников (рис.5,г), убеждаемся в существовании самоподобия аттрактора Энона. Картинки на рис.5,б—г внешне похожи, меняется только масштаб. Этот аттрактор имеет дробную размерность 1.26 при выбранных нами условиях.

Два вышеприведенных примера показывают, как «обычные» уравнения могут привести к множествам с нетривиальной структурой и дробной размерностью.

#### ДРОБНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ И ФРАКТАЛЫ

Мы уже упоминали о том, что до недавнего времени фракталы не рас-

сматривались как объекты, которые могут быть использованы при описании окружающей природы, и каждое фрактальное множество было своего рода занятой математической игрушкой. Именно поэтому математические методы изучения фракталов развивались достаточно медленно. С возникновением постоянного интереса к самоподобным объектам у ученых, занимающихся любым из аспектов применения фрактальной теории для описания природы, все больший интерес вызывает ответ на вопрос: как описывать фрактальные объекты и процессы, имеющие самоподобную структуру?

В настоящее время множество работ ограничивается лишь констатацией факта о наличии фрактальной размерности у исследуемого объекта. Попытки изучения механизмов образования и роста природных фракталов, а также процессов, в них происходящих, наталкиваются на математические трудности. Наибольшие успехи в их преодолении связаны с использованием компьютеров. Полученные результаты впечатляют, и еще более захватывающими представляются перспективы развития этого направления. Именно развитие компьютерной техники определило прогресс в применении идеи фрактальной теории для описания природы. Все рисунки к нашей статье были получены на компьютере. Однако метода аналитического описания процессов, проявляющих масштабную инвариантность или происходящих во фракталах, до сих пор не найдено.

Проблемы математического описания связаны с тем, что фракталы, в определенном смысле, занимают промежуточное положение между непрерывными объектами, такими как прямая или плоскость, и дискретными объектами, например точкой или кристаллической решеткой. Именно поэтому аналитическое описание фракталов с помощью методов классического математического анализа и дискретной математики не всегда эффективно. Вместе с тем оказалось, что иногда процессы, происходящие во фракталь-

<sup>7</sup> Henon M. // Commun. Math. Phys. 1976. V.50. P.69.

ных объектах, можно описывать с помощью дифференциальных уравнений, содержащих дробные производные вместо обычных производных целого порядка.

Операции дробного дифференцирования и интегрирования являются обобщением обычных операций дифференцирования и интегрирования. Они были сформулированы математиками независимо от исследований фрактальных объектов еще во времена построения фундамента классического математического анализа, однако из-за отсутствия практических приложений эта область оставалась неизвестной большинству ученых<sup>8</sup>.

Применение аппарата дробного интегрирования при описании процессов, имеющих самоподобный характер или происходящих во фрактальных средах, возможно благодаря тому, что при определенных условиях операции усреднения некоторой гладкой функции на фрактальном множестве сопоставимы с операцией дробного интегрирования. Самыми простыми примерами применения операторов дробного дифференцирования для описания процессов, имеющих фрактальный характер, можно считать модели сверхмедленной релаксации и гармонического осциллятора с потерями, вызванными самоподобными столкновениями.

**Сверхмедленная релаксация** — один из множества релаксационных процессов, не подчиняющихся обычно уравнению релаксации

$$\frac{df}{dt} + \Omega f = 0, \quad (3)$$

решение которого — затухающая экспонента  $f(t) = Ae^{-\Omega t}$ .

Сверхмедленная релаксация описывается уравнением

$$\frac{d^\nu f}{dt^\nu} + \Omega f = 0, \quad (4)$$

в котором вместо первой производной по времени стоит дробная производ-

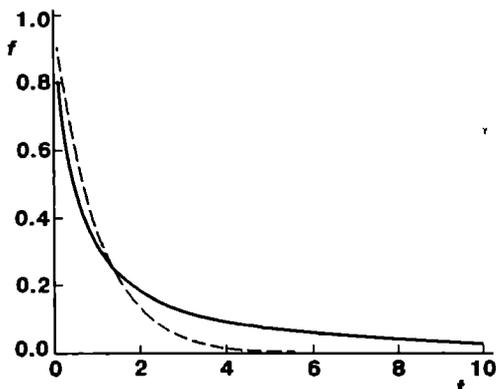


Рис.6. Зависимость функции релаксации  $f$  от времени  $t$ . Штриховая кривая — экспоненциальная релаксация, сплошная — «сверхмедленная релаксация»,  $\nu=0.7$ .

ная  $d^\nu/dt^\nu$  с показателем  $0 \leq \nu \leq 1$ . Решение такого уравнения не выражается в элементарных функциях, но, конечно, убывает с течением времени. Основное отличие заключается в том, что это падение происходит по степенному закону ( $\sim t^\nu$ ), т.е. существенно медленнее экспоненциального ( $Ae^{-\Omega t}$ ) (рис.6).

Процессы простой и сверхмедленной релаксации можно довольно надежно различать, и уже в начале нашего века сверхмедленная релаксация была обнаружена во многих физических системах. Так, в диэлектрической релаксации она была известна под названием релаксации типа Коула-Коула (Cole-Cole). Однако уравнение, которое описывает подобные процессы, было получено лишь недавно.

Одна из возможных моделей, которая приводит к появлению уравнения сверхмедленной релаксации, — модель самоподобного взаимодействия релаксирующей системы с «термостатом». Термины «релаксирующая система» и «термостат» являются обычными при описании релаксационных процессов. Простейшая аналогия: чашка горячего кофе, стоящая на столе, — «релаксирующая система», а окружающий ее воздух в комнате — «термостат». Главные требования к термостату: он должен быть гораздо больше релаксирую-

<sup>8</sup> Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы, производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск, 1987.

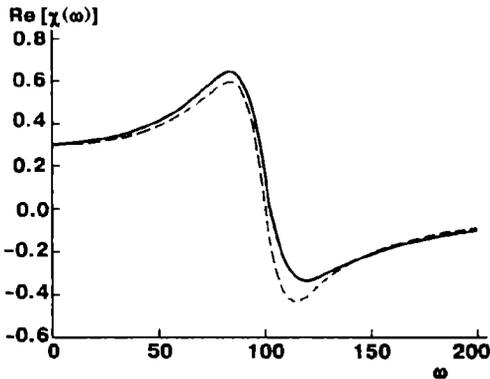


Рис.7. Реальная часть комплексной восприимчивости  $\chi(\omega)$ . Штриховая кривая — обычный осциллятор, сплошная — фрактальный осциллятор.  $\Omega_0=100$ ,  $\lambda=15$ ,  $\nu=0.2$ .

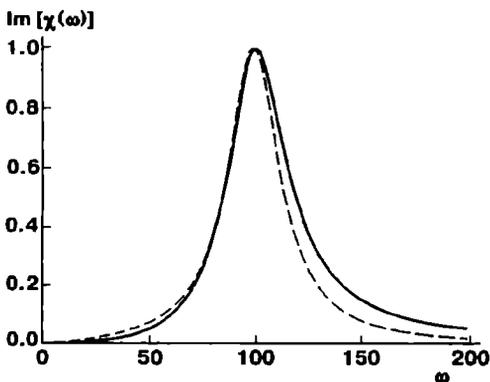


Рис.8. Мнимая часть комплексной восприимчивости  $\chi(\omega)$ . Штриховая кривая — обычный осциллятор, сплошная — фрактальный осциллятор.  $\Omega_0=0$ ,  $\lambda=15$ ,  $\nu=0.2$ .

щей системы и его состояние не должно меняться во время процесса релаксации (остывания чашки с кофе). Интенсивность взаимодействия релаксирующей системы и термостата определяется константой  $\Omega$ .

В обычном случае (с чашкой кофе) передача энергии от релаксирующей системы к термостату (от горячего кофе к окружающему воздуху) происходит непрерывно, в каждый момент времени. Тогда релаксация (изменение температуры кофе) идет по обычному закону  $f(t)=Ae^{-\Omega t}$ .

Если же взаимодействие с

термостатом (передача энергии) происходит прерывистым образом, естественно ожидать, что релаксация (остывание кофе) замедлится. Именно это и наблюдается в случае сверхмедленной релаксации. Пусть релаксирующая система взаимодействует с термостатом в прерывистом режиме, причем моменты взаимодействия совпадают с точками фрактального множества, имеющего размерность  $0 \leq D_f \leq 1$ . Такая модель может быть названа «моделью самоподобного взаимодействия с термостатом». В этом случае релаксация описывается уравнением сверхмедленной релаксации. Причем можно показать, что фрактальная размерность  $D_f$  процесса взаимодействия с термостатом и показатель дробной производной  $\nu$  совпадают ( $D_f=\nu$ ).

**Фрактальный осциллятор** — еще один простейший пример применения операторов дробного дифференцирования.

Обычный осциллятор представляет собой систему, которую можно описать дифференциальным уравнением вида

$$\frac{d^2 f}{dt^2} + 2\lambda \frac{df}{dt} + \Omega_0^2 f = 0. \quad (5)$$

Этому уравнению подчиняется, например, зависимость от времени координаты груза, подвешенного на пружине, при его колебаниях. При этом константа  $\Omega_0$  определяется коэффициентом жесткости пружины и массой тела, а константа  $\lambda$  зависит от коэффициента трения при этих колебаниях. Если трения нет, то  $\lambda=0$ , потеря энергии не происходит и колебания, однажды начавшись, продолжают без затухания. Таким образом, наличие параметра  $\lambda \neq 0$  в уравнении для обычного осциллятора указывает на потери энергии в этой системе.

Если продолжать аналогию с грузом, колеблющимся на пружине, то можно рассмотреть модель, когда в системе нет трения, но пружина действует на груз не в каждый момент времени. В моменты, совпадающие с точками фрактального множества, раз-

мерности  $\nu$  взаимодействия между грузом и пружиной нет, а в остальные моменты есть. Такую модель можно назвать «моделью фрактального осциллятора». Она описывается уравнением

$$\frac{d^{2-\nu}f}{dt^{2-\nu}} + \Omega_0^{2-\nu}f = 0. \quad (6)$$

Несмотря на то, что трение отсутствует, потери энергии все-таки происходят, и связаны они с самоподобным характером взаимодействия в этой системе. Это можно заметить, если сравнить зависимости комплексной восприимчивости  $\chi(\omega)$  от частоты  $\omega$  для обычного и фрактального осцилляторов; их реальная часть пропорциональна отклику системы на возмущение, а мнимая характеризует потери энергии в системе (рис. 7, 8). Наличие широкого пика для мнимой части комплексной восприимчивости и в том и в другом случае указывает на потери энергии в этих системах, тогда как при их отсутствии [уравнение (5) при  $\lambda=0$ ] пик вырождается в дельта-функцию.

Зависимости мнимой части комплексной восприимчивости от частоты для обычного и фрактального осцилляторов очень похожи, несмотря на то что для обычного осциллятора трение явно присутствует в системе, а для фрактального его формально нет. Тем не менее отличие есть. Для фрактального осциллятора зависимость не симметрична относительно точки  $\Omega_0$ .

Эти две простые модели показывают, как самоподобный характер процессов, происходящих в физических системах, может отразиться на их поведении. При построении данных моделей мы сознательно прибегли к аналогиям с такими обыденными процессами, как остывание горячего тела и упругие колебания. Однако подобные

идеи могут быть использованы и при построении моделей совершенно иных явлений.

Можно было бы привести еще ряд примеров использования идей фрактальной теории для описания природных объектов, но, на наш взгляд, нам удалось продемонстрировать принципиальную возможность применения этих идей, а именно это и было одной из целей статьи. Однако хотелось бы не просто еще раз напомнить о возможности использования фрактальной геометрии при описании природных объектов, но и акцентировать внимание на тех моментах, которые обычно остаются в тени при написании популярных статей. Мы стремились не столько поразить читателей красотой фракталов, сколько показать, как они могут быть использованы и где в природных явлениях можно ожидать возникновения самоподобных фрактальных структур.

Одно из самых интересных свойств фракталов — их нелинейность. А нелинейность, как известно, зачастую приводит к необратимости. Косвенным подтверждением связи между фрактальной геометрией и необратимостью можно считать фрактальные свойства систем с динамическим хаосом.

Кроме того, мы хотели обратить внимание и на существующие проблемы. По нашему мнению, к основным из них в настоящее время можно отнести поиск адекватного математического аппарата для описания самоподобных объектов и, что более важно, — разработку идеологии построения фрактальных моделей природных процессов. Скорее всего именно в этом направлении можно ожидать наиболее интересных достижений.

## «Горячие новости» с горячих подводных источников Атлантики

**А. В. Гебрук,**

кандидат биологических наук  
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН  
Москва

**И**НСТИТУТ морских и прибрежных исследований (Institute of Coastal and Marine Sciences) при Университете Радгерса (штат Нью-Джерси, США) провел в июле 1997 г. беспрецедентную по своим масштабам биологическую экспедицию на Срединно-Атлантическом хребте (САХ) с использованием подводного обитаемого аппарата «Алвин». Впервые в истории изучения гидротерм биологии, возглавляемые Р.Вридженхоком (R.Vrijenhoek) и Р.Латцем (R.Lutz), посетили

в одном рейсе, получившем название MAR-97, все известные гидротермальные поля на САХ (Менез Гвен, Лаки Страйк, Брокен Спур, ТАГ, Снейк Пит и Логачев), расположенные между 37° и 14°с.ш. в диапазоне глубин от 800 до 3800 м.

Экспедиция стала первым научным рейсом новейшего исследовательского судна США «Атлантис», спущенного на воду в январе 1997 г., и обновленного «Алвина». Судно-носитель оснащено системой динамического позиционирования (точной фиксации в заданной точке акватории), имеет

водоизмещение 3.5 тыс.т. и длину 84 м. Число мест для научного состава 23, столько же для команды, да еще 13 мест для отряда пилотов и техников «Алвина». Этот корабль пришел на смену «Атлантису-II», прослужившему морской науке с 1963 по 1996 г. (первый «Атлантис» был в строю с 1931 по 1966 г.). Новый «Атлантис» стал третьим (после «Лулу» и «Атлантиса-II») носителем аппарата «Алвин», введенного в

*Обитаемый аппарат «Алвин» (слева) и судно-носитель «Атлантис».*

© А.В.Гебрук



строй в 1964 г. и совершившего уже более 3300 спусков. В 1996 г., пока менялся корабль-носитель, подводники из Океанографического института в Вудс Холе полностью перебрали «Алвин», заменили некоторые из узлов гидравлической и электрической проводки, обновили обшивку и поменяли большой хвостовой пропеллер на группу маленьких движителей-трастеров. Титановую сферу аппарата во время ремонта не трогали, оставив максимальную рабочую глубину «Алвина» 4500 м.

В состав экспедиции помимо ученых из Университета Радгерса входила группа английских специалистов, представляющих свою национальную программу BRIDGE (British Ridge Initiative — Британская национальная программа по исследованию срединно-океанических хребтов; по ней в настоящее время работает и автор этих строк), ученые из Португалии

и Индии. У экспедиции были две основные задачи:

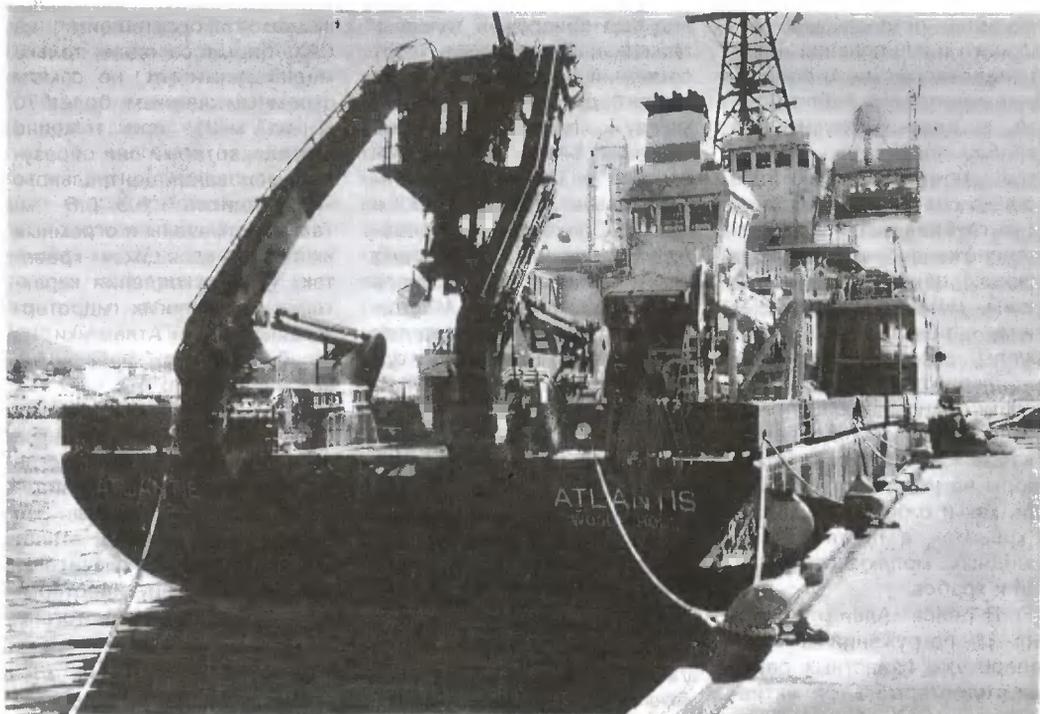
— изучение видового разнообразия и обмена генами между популяциями в двух группах животных — мидий и креветок, которые в разных сочетаниях определяют лицо всех известных гидротермальных сообществ Атлантики;

— вопросы питания гидротермальных креветок.

Волнующим событием рейса стало участие в открытии нового, седьмого по счету на САХ, гидротермального поля Рейнбоу на 36° с.ш. Примерно два года назад английские ученые, возглавляемые геологом К. Джерманом (С. German; Океанографический центр Саутгемптона), обнаружили в этом районе в толще воды мощный гидротермальный плюм<sup>1</sup>. Они продолжали следить за

ним, пока не нашли его «вертикальную составляющую», т.е. восходящий поток гидротермального «облака», точно под которым должен быть расположен гидротермальный источник. В день, когда был зарегистрирован гидротермальный плюм, в небе над Атлантикой висела огромная радуга, она и дала название новому предполагаемому полю — Рейнбоу. В июле 1997 г. на координаты восходящего плюма вышли одновременно две экспедиции с подводными обитаемыми аппаратами на борту: французское судно «Атланте» с «Наутилем» на борту и американский «Атлантик» — с «Алвином». С французами находился Джерман, которому принадлежит приоритет открытия района Рейнбоу, поэтому американские ученые не спешили и предоставили французам возможность совершить в этом районе первые погружения. Координаты восходящего

<sup>1</sup> German C., Klinkhammer G., Rudnicki M. // BRIDGE Newsletter. 1997. V.12. P.28—32.



плюма были настолько точны, что «Наутиль» в первом же спуске, 10 июля, вышел на гидротермальные источники на дне. Уже на следующий день на Рейнбоу погружался «Алвин», используя навигацию французов и их донные маяки.

Открытие поля Рейнбоу стало выдающимся примером международного сотрудничества в области глубоководных исследований: французы и американцы впервые для себя провели двойные погружения, т.е. одновременный спуск двух аппаратов — то, что давно стало нормой для наших «Миров». За два дня было проведено два двойных погружения, в которых к тому же американские пилоты в качестве наблюдателей спускались на борту «Наутиля», а французские — на «Алвине». Совершив «рукопожатие» через океан, экспедиции расстались: «Алвин» поспешил дальше на юг, к следующему полю — Брокен Спур, а «Наутиль» остался для детального исследования нового гидротермального района. Из комментариев наблюдателей в первых спусках на Рейнбоу следовало, что это поле, протяженностью несколько сот метров, находится на глубине около 2500 м и расположено на пологом склоне, покрытом толстым слоем мягкого осадка. По всему полю разбросаны группы стройных, изящных «курильщиков» от 2 до 5 м в высоту, напоминающих окаменевшие стволы деревьев. Первые биологические сборы на новом поле принесли, как и ожидалось, мидий и креветок, а также колпачковидных моллюсков, актиний и крабов.

В рейсе «Алвин» выполнил 18 погружений в семи теперь уже известных районах гидротермальной активности на САХ. Кроме того,

была предпринята попытка найти на дне выходы метана в районе 15°с.ш., названном геологами «Скарп» (откос). «Алвин» прошел здесь у дна около двух миль, однако, несмотря на мощный метановый сигнал в толще воды, характерные донные биологические сообщества обнаружены не были.

Обширные биологические сборы со всех гидротерм Атлантики поступили в лаборатории и сейчас обрабатываются. От результатов многое ожидается, и в частности то, что совокупными усилиями биохимиков, микробиологов и зоологов будет, наконец, решен вопрос о роли бактерий в питании гидротермальных креветок<sup>2</sup>. Уже сейчас серьезно дополнены данные о распространении креветок. Например, найден, причем на самом мелководном гидротермальном поле Менез Гвен (таблица), новый для САХ вид креветок — *Alvinocaris stactophila*. Ранее этот вид был обнаружен только в Мексиканском заливе. Нет сомнений, что новая находка оживит дискуссию о связи между гидротермальными фаунами САХ, западной Атлантики и Пацифики<sup>3</sup>. Примечательно также, что в районе Брокен Спур происходит смена некоторых видов креветок: так, *Mirocaris keldyshi* замещается *M. fortunata*, а ареал *A. markensis* обрывается. Возможно, однако, что более детальные

сборы на поле Рейнбоу изменят и это представление.

Особый интерес для отечественных биологов представляют новые находки на поле Логачев<sup>4</sup>, открытом российскими учеными в рейсе 1993—1994 гг. и остающимся одним из наименее изученных гидротермальных полей Атлантики. До рейса «Атлантика» на Логачеве было совершено всего шесть погружений, причем лишь для геологических целей, два — на «Мирах», четыре — на «Наутиле». Считалось, в частности, что гидротермальная фауна на этом поле относится к наиболее бедным в Атлантике. Три погружения «Алвина» с биологами на борту (включая автора) полностью опровергли сложившееся представление. Гидротермальное сообщество, которое обнаружено в районе комплекса «курильщиков», названного ранее французскими учеными «Ирина-2», возможно, окажется богатейшим на САХ: биомасса одних только мидий достигает, по самым скромным оценкам, более 70 кг на м<sup>2</sup>(!), при толщине «ковра», который они образуют у основания центрального «курильщика», 0,3—0,5 м. Там же отмечены и огромные скопления «роящихся» креветок. Такие скопления характерны для многих гидротермальных полей Атлантики, но на Логачеве их раньше не встречали.

Можно представить себе волнение участников экспедиции MAR-97, когда на поле Логачев были найдены живые калиптогены. Это событие, безусловно, станет одним из самых значительных в «биологии гидротерм» последних лет. Калиптогены

<sup>2</sup> Гебрук А.В., Пименов Н.В., Саввичев А.С. «Бактериальный огород» на ротовых конечностях креветок // Природа. 1992. № 6. С.37—39; Верещака А.Л. Креветки, которые, обжегшись на молоке, не дуют на воду // Природа. 1996. № 8. С.60—61.

<sup>3</sup> Gebruk A.V., Galkin S.V., Vereshchaka A.L. et al. // Advances in Marine Biology. 1997. V.32. P.93—144.

<sup>4</sup> Batuyev B.N., Krotov A.G., Markov V.F. et al. // BRIDGE Newsletter. 1994. V.6. P.6—10.

## Распространение гидротермальных креветок на Срединно-Атлантическом хребте

Виды	Район исследований						
	Менез Гвен	Лаки Страйк	Рейнбоу	Брокен Спур	ТАГ	Снейк Пит	Логачев
<i>Rimicaris exoculata</i>	? <sup>a</sup>	+	+	+	+	+	+
<i>Iorania concordia</i>		новые данные	новые данные	+	+	+	+
<i>Chorocaris chacei</i>		+	новые данные	+	+	+	новые данные
<i>Mirocaris fortunata</i>	+	+	видео запись новые данные	+			новые данные
<i>M. keldyshi</i>	новые данные		новые данные	+	+	+	+
<i>Alvinocaris markensis</i>				+	+	новые данные	+
<b><i>A. stactophila</i></b> (новый для СAX)	+			видео запись			новые данные
<i>A. muricola</i>	новые данные						+?
<i>A. longirostris</i>							+?

Примечания. а — устное сообщение французских ученых; +? — предварительные данные, нуждающиеся в уточнении.

— сборная группа двусторчатых моллюсков из семейства *Vesicomysidae* — широко распространены по всему Тихому океану и нередко играют в гидротермальных сообществах ключевую роль. Однако в гидротермах Атлантики их долго не находили, так же как и другую важнейшую гидротермальную группу — вестиментифер. Лишь в начале этого десятилетия первую мертвую створку калиптогены обнаружили на поле Снейк Пит, а спустя несколько лет к ней добавились еще две створки, также мертвые, с участка на 15° с.ш. В 1995 г. единствен-

ная мертвая створка калиптогены была найдена в образце, взятом драгой на Логачеве санкт-петербургскими геологами из ВНИИ «Океангеология». О факте этой находки, не опубликованном до последнего времени, организаторы экспедиции MAR-97 узнали уже в рейсе, и поиск живых калиптоген сразу стал одной из приоритетных задач погружений на Логачеве. Поиск оказался поистине драматичным: два погружения не дали ничего нового, живых калиптоген удалось найти лишь в третьем — последнем погружении на Логачеве (оно было и последним во всем рейсе).

Тогда были обнаружены и несколько пятен с мертвыми створками калиптоген. Поле этих моллюсков, помеченное табличкой «Аня», приурочено к диффузному просачиванию теплого гидротермального раствора через мягкий осадок. По предварительному мнению Е. Крыловой, эксперта из нашего института, эти моллюски принадлежат роду *Ectenagena* и близки к виду, найденному в западной части Тихого океана. Очевидно, что это не последняя биологическая загадка, которую принесут материалы экспедиции MAR-97.

# Биологические эффекты солнечной активности

Т.К. Бреус



*Тамара Константиновна Бреус, старший научный сотрудник Института космических исследований, кандидат физико-математических наук. Занимается изучением солнечного ветра, его взаимодействия с ионосферами и магнитосферами планет Земной группы, а также влияния слабых магнитных полей на биологические объекты. Участвовала в проектах "Марс-2 и -3", "Венера-9 и -10", "Фобос" и "Марс-96". Ее работы публиковались в трудах международных конференций КОСПАР, ISSOL, конгрессов по хронобиологии и хрономедицине, двух Пулицинских симпозиумов.*

**В** РОССИИ широкое изучение биологических эффектов солнечной активности, основы которого были заложены в начале века А.Чижевским, началось в 60-х годах. Значительная часть опубликованных работ выявила корреляции долгопериодических колебаний биологических параметров с солнечной активностью, имеющей 11-летние циклы и сезонные колебания. В ряде случаев были обнаружены биологические эффекты аperiodических изменений геомагнитной активности — магнитных бурь<sup>1</sup>. Однако в 80-е годы, когда число гелиобиологов значительно возросло, было установлено, что корреляционные связи между медико-биологическими и гелиогеофизическими данными очень слабы или статистически незначимы<sup>2</sup>. Такая противоречивость результатов породила скептическое отношение к проблеме в целом. Поводом для скептицизма послужил и другой факт. Дело в том, что вариации естественных электромагнитных полей, признаваемых главным биотропным агентом, имеют столь малые амплитуды, что, по мнению многих, не могут конкурировать с электромагнитным полем, скажем, телефонной трубки или других привычных нам бытовых предметов. По ряду оценок их величины сравнимы с электромагнитными шумами в самих клетках биосистем. Попытки выявить в лаборатории эффекты воздействия таких слабых сверхнизкочастотных полей давали неоднозначные результаты из-за

© Т.К.Бреус

<sup>1</sup> Пресман А.С. Электромагнитные поля в живой природе. М., 1968; Сидякин В.Т., Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Владимирский Б.М. Космическая экология. Киев, 1985.

<sup>2</sup> Lipa B.J., Sturrock P.A., Rogot F. // Nature. 1975. V.259. P.302.

плохой воспроизводимости. Серьезную критику вызывало и отсутствие в большинстве исследований оценок статистической достоверности полученных результатов. Все это долго не позволяло сформулировать удовлетворительную гипотезу о механизмах воздействия геомагнитной активности.

Подобная ситуация характерна для наук, изучающих природные объекты, которые представляют собой сложные открытые нелинейные системы, поскольку реакция таких систем зависит не только от воздействующего фактора, но и от ее состояния<sup>3</sup>.

В настоящее время можно утверждать, что, вопреки интуитивным представлениям, влияние внешнего шума составляет основу для понимания поведения сложных природных систем, в самоорганизации которых он может играть определяющую роль.

## ХРОНОБИОЛОГИЯ

Хронобиология — это наука о биологических ритмах и временных трендах, их зависимости от состояния системы, о физиологических механизмах, лежащих в их основе. Она изучает внешние синхронизаторы (или времядатчики), их основные свойства и взаимосвязь с организмами.

Сложные открытые нелинейные биосистемы могут критически зависеть от меняющихся условий среды обитания и реагировать макроскопически на микроскопические флуктуации воздействующих факторов<sup>4</sup>. Чтобы выжить и приспособиться к внешним флуктуациям (например, температуры, климата, пищи и т.д.), биологические системы должны проявлять значительную степень случайности в своем поведении. Для понимания их организации во времени необходимо иметь данные длительных измерений фи-

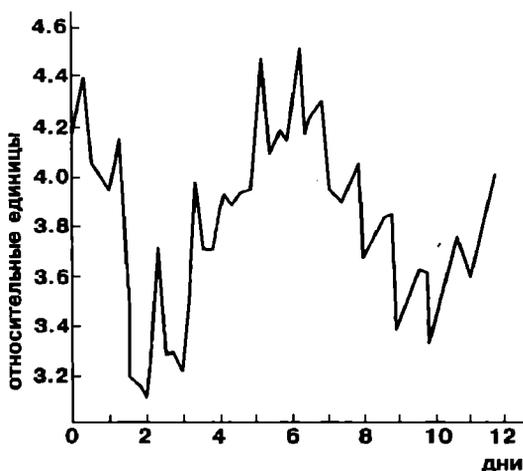
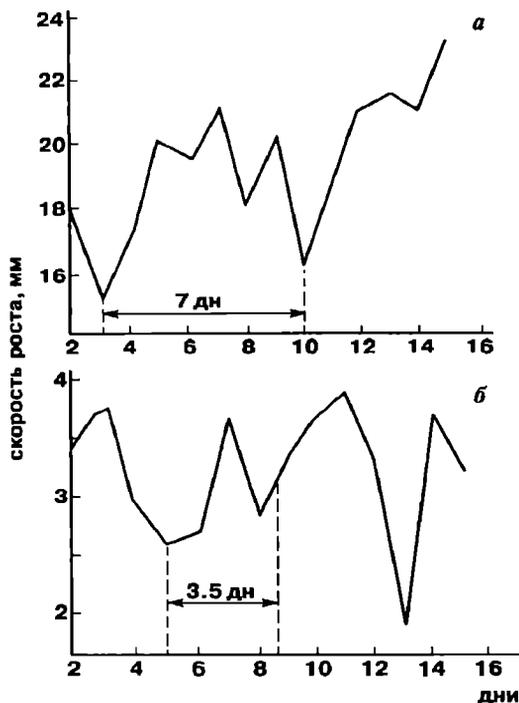
зиологических характеристик, что обычно трудно осуществить. Именно поэтому проблема воздействия солнечной активности на биосистемы получила качественно новое освещение, когда стали использовать данные, полученные методами хронобиологии.

В настоящее время общепризнано, что околосуточные (циркадианные) ритмы биологических систем возникли у первичных организмов на ранней Земле в ответ на суточные изменения в среде обитания (в основном, освещенности и температуры). В процессе эволюционной адаптации установились определенные фазовые соотношения между суточными вариациями различных подсистем организма, так что кровяное давление, частота сердечных сокращений, продукция гормонов и т.п. в течение суток достигают максимума (минимума) в свое определенное время. Нарушить этот распорядок (вызвать десинхроноз) могут как внешние причины (нарушение ритма синхронизирующего датчика времени), так и внутренние (заболевания). Полагают, что у позвоночных суточным ритмом управляет шишковидная железа — эпифиз, с помощью гормона мелатонина.

Долгое время считалось, что именно эндогенный суточный ритм определяет всю динамику биологических показателей. Однако сравнительно недавно обнаружили, что существенная роль в этой динамике принадлежит другим ритмам с периодами около трех с половиной суток, около одной (7 дней), двух (14 суток) и четырех недель (28 дней). Оказалось, что эти так называемые инфрадианные ритмы присущи всем биологическим системам. Об эндогенной инфрадианной ритмике человеческого организма говорят и наблюдения Гиппократа, Галена и Авиценны. Околонедельные и околополунедельные ритмы, выявленные у одноклеточных, насекомых, крыс и отмеченные еще античными врачами, трудно увязать с социальной (календарной) неделей. Очевидно, что это свободнотекущие ритмы, синхронизованные по фазе с моментом воздействия, вследствие чего их и можно отнести к эн-

<sup>3</sup> McLeod B.R., Libbof A.R., Smith S.D. // J.Theor.Biol. 1992. V.158. P.15.

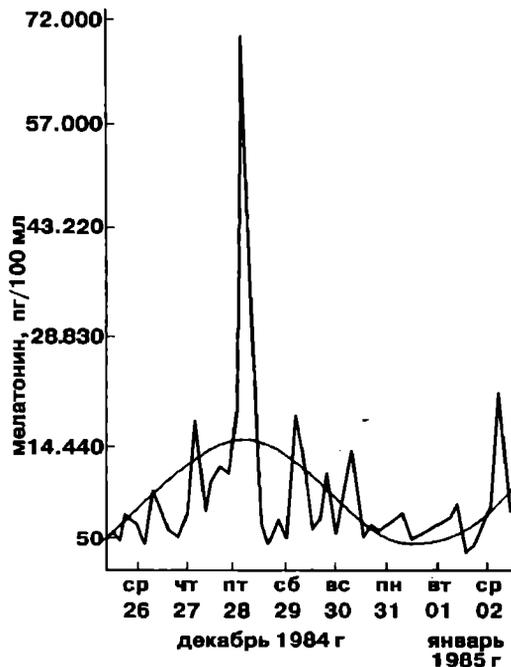
<sup>4</sup> Хорстхемке В., Ляфевр Р. Индуцированные шумом переходы. М., 1987; Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. Ритмы жизни. М., 1991.



Околонедельные и околополунедельные ритмы скорости роста нормальной клетки (а) и клетки с удаленным ядром (б) одноклеточной морской водоросли *Acetabularia mediterranea*, полученные при искусственном смещении нормального режима освещенности. Справа — ритмы биолуминесценции другого одноклеточного организма — *Gonualax Poluedra*.

догенным, по аналогии, например, с суточным ритмом сна и бодрствования, устойчивостью которого и синхронизацию по местному времени мы хорошо ощущаем после межконтинентальных перелетов.

Что же "завело" эти биологические часы? Долгое время не удавалось обнаружить внешний синхронизатор инфрадианной ритмики, очевидно очень важной для всех организмов. Сначала полагали, что биологическим системам требуется именно неделя на завершение интеграции суточных процессов, формирующих



Ритмы содержания мелатонина в эпифизе крыс-самок. Цветная кривая проведена по экспериментальным точкам (черная кривая). Вариации амплитуды суточных ритмов имеют околонедельный период.

ее органические свойства. Позднее роль датчика времени околонеделных биологических ритмов отводили "лунным" ритмам. Однако и этот фактор нельзя считать универсальным в эволюционном процессе на Земле.

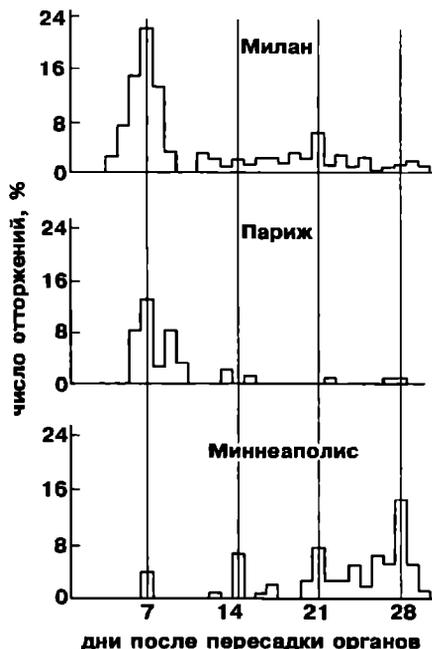
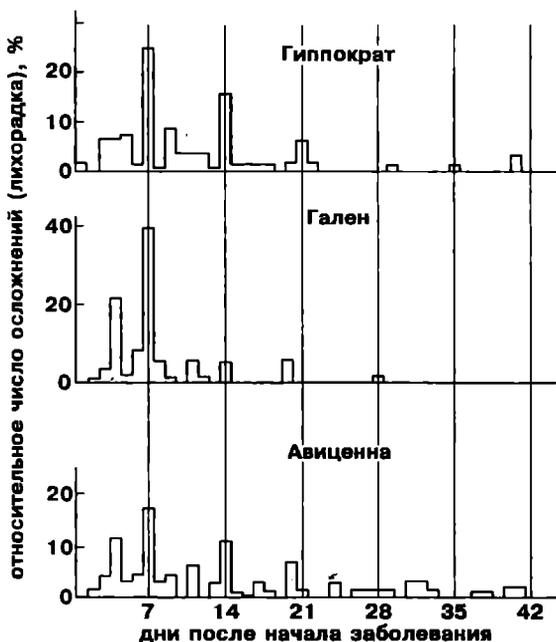
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ И СОЛНЕЧНЫХ  
РИТМОВ**

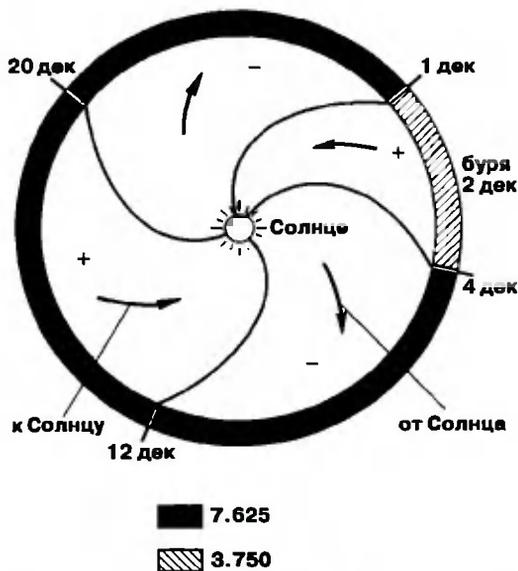
Экспериментальные космические исследования свойств солнечного ветра и межпланетных магнитных полей (ММП) показали, что при их взаимодействии с магнитным полем Земли генерируются как ритмы геомагнитного поля, отражающие ритмы солнечной активности, так и его флуктуации и возмущения. Выяснилось, что периоды этих ритмов соответствуют не суткам, обусловленным вращением Земли, а около 27-дневному пери-

оду вращения Солнца и его гармоникам. Дело в том, что собственное вращение Солнца модулирует истечение солнечной плазмы и наклон плоскости магнитного экватора Солнца к плоскости эклиптики, в которой находится Земля и планеты. Из-за этого Земля, двигаясь по своей орбите вокруг Солнца, попадает в различные полшария "солнечной магнитосферы" — с противоположной ориентацией магнитного поля — и испытывает при этом воздействие непрерывно меняющих свою интенсивность потоков солнечной плазмы. Из-за того, что магнитный экватор Солнца наклонен к плоскости эклиптики, вектор ММП вблизи орбиты Земли имеет небольшую компоненту  $V_z$ , перпендикулярную к плоскости эклиптики. Благодаря вращению Солнца  $V_z$  меняет свою ориентацию на противоположную, что и определяет направление ММП в секторной структуре<sup>5</sup>. Когда  $V_z$  направлена противоположно по отношению к магнитному полю Земли, на границе магнитосферы возникают области пере-

*Спектры обострений после начала заболевания лихорадкой, построенные по записям врачей античного периода (слева), и отторжений трансплантатов после операций по пересадке почек и сердца, рассчитанные по протоколам клиник Милана, Парижа и Миннеаполиса (справа).*

<sup>5</sup> Wilcox J. M., Ness N. F. // J. Geophys. Res. 1965. V. 70. P. 5793.





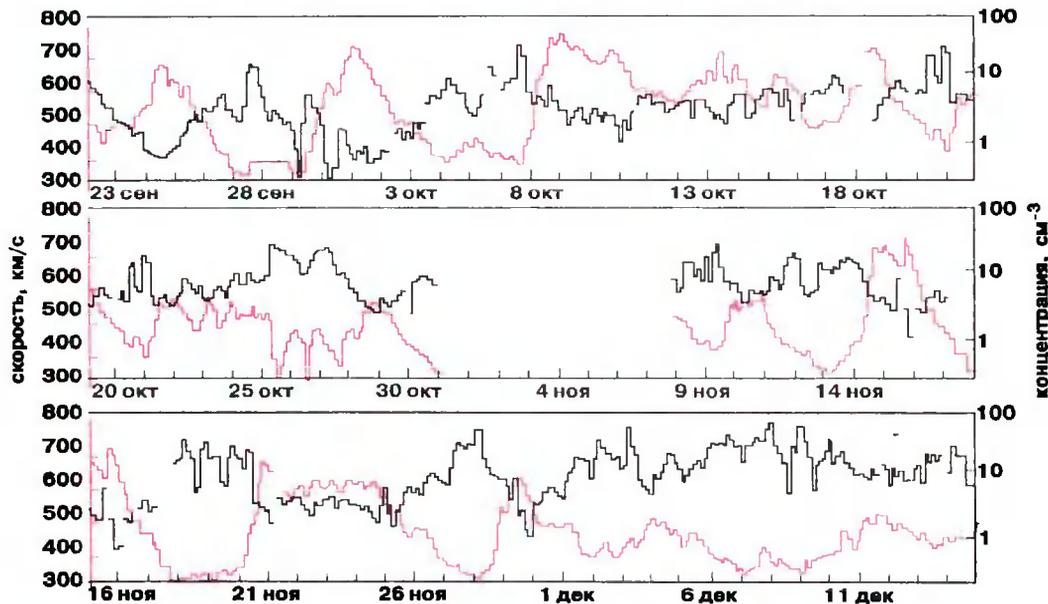
Секторная структура межпланетного магнитного поля, по усредненным данным измерений на космических аппаратах вблизи орбиты Земли в плоскости эклиптики. Стрелки — направления силовых линий ММП, знаки (+) и (-) соответствуют направлениям от Солнца и к Солнцу соответственно. Внизу показана характерная средняя продолжительность (в днях) наблюдения секторов при четырехсекторной структуре (по: Wilcox J.M. and Ness N.F., 1965).

туры ММП, а также сопоставление их со спектрами планетарных индексов геомагнитной активности показывает, что периоды ритмов всех этих показателей соответствуют периоду собственного вращения Солнца и его гармоникам.

соединения межпланетного и геомагнитного полей, через которые в магнитосферу Земли проникают потоки солнечной плазмы. Если такой процесс длится достаточно долго, то энергия, накапливающаяся в магнитосфере Земли, реализуется в виде магнитной бури.

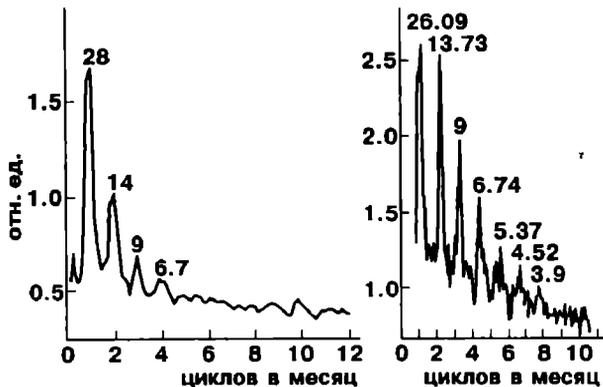
Изучение спектров скорости солнечного ветра и вариаций секторной струк-

Биологические системы, обладающие внутренней стохастичностью и случайностью адапционного поведения, видимо, приспособились к ритмам солнечной активности, т.е. подстроились к ритмам электромагнитных полей (внешних синхронизаторов). Флуктуации же и резкие изменения этих ритмов должны сопровождаться адаптивной стресс-реакцией живых организмов. В процессе эволюции это, вероятно, и привело к включению характерных ритмов внешнего синхронизатора в генетически закреп-



Околонедельные "волны" скорости и концентрации (цветная кривая) солнечного ветра, измеренные на искусственных спутниках Земли (из сб. Солнечно-земная физика. М., 1968.).

*Спектр вариаций секторной структуры ММП за 1958–1989 гг. (слева) и Кр-индекса геомагнитной активности, полученный по данным за те же годы. Числами обозначены периоды (в днях). По оси абсцисс — частота (число циклов за 1/12 года), по оси ординат — средняя амплитуда в относительных единицах.*



ленный хроном организма. Расщепленность основных пиков в спектре индексов геомагнитной активности указывает на сложную динамику и некоторую их неустойчивость вблизи каждого из основных периодов. Такая структура пиков объясняется тем, что причиной геомагнитного возмущения служат потоки солнечного ветра, видимо, приходящие из разных широтных областей Солнца. В этом отношении ритмы биологических систем, характеризующиеся "блужданиями" фазы и амплитуды, сходны с ритмами гелиогеомагнитных факторов. Это позволяет предположить, что именно эти их свойства способствовали адаптации, иными словами, облегчали их "подстройку" под ритм внешнего синхронизатора<sup>6</sup>.

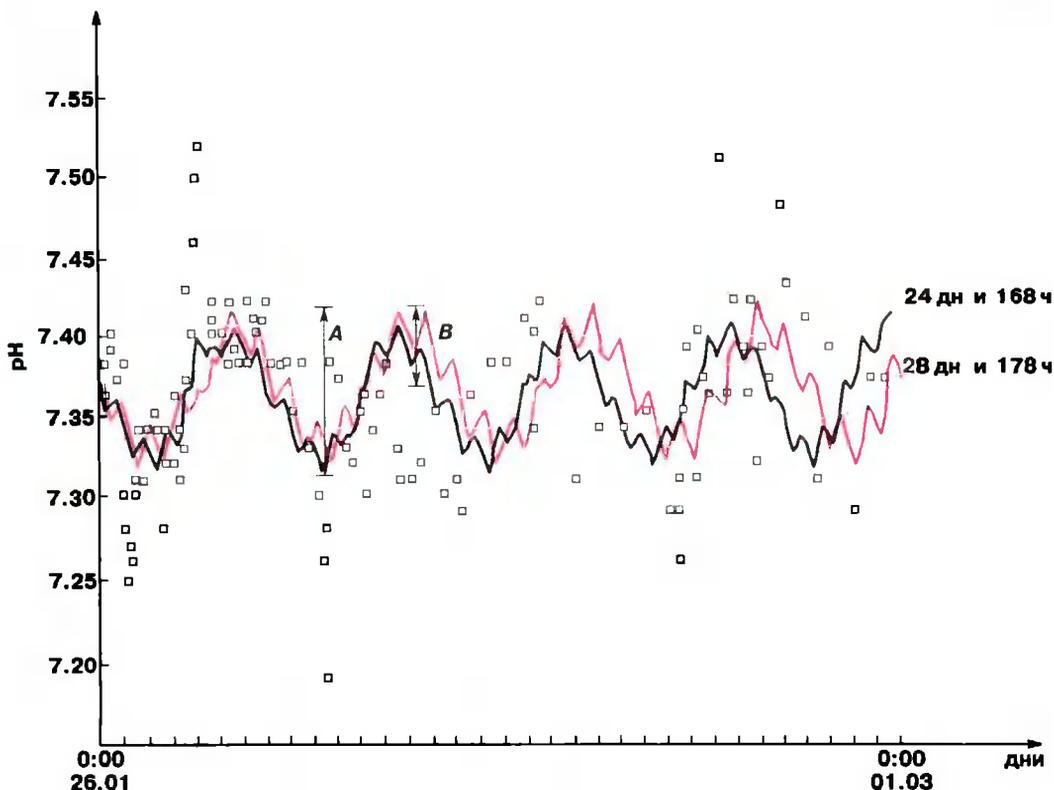
Итак, наша концепция о роли солнечной активности как датчика времени биологических систем опирается на представления о том, что сложная нелинейная биологическая система реагирует на внешний шум, когда ее внутреннее состояние неустойчиво, а также на представления хронобиологии о временной структуре биосистем и ее эволюции под влиянием внешних факторов. По этой концепции, ритмика живых организмов сформировалась не только под влиянием ритмов суточного синхронизатора — освещенности, но также и под влиянием ритмов "электромагнитной погоды",

навязываемых солнечным ветром и ММП. Резкие и значительные возмущения, например геомагнитные бури, в таком случае должны вызывать стресс, подобный адапционному десинхронизу суточных ритмов, возникающему при межконтинентальных перелетах. Естественно, что выраженность реакции зависит от состояния организма, от его наследственных особенностей, так сказать "магниточувствительности", и может быть критичной, если его адапционные системы не в порядке, по аналогии с метеочувствительностью.

#### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большое значение для понимания природы времядатчика инфрадианных ритмов имели результаты наблюдения за новорожденными детьми. Предполагалось, что временная структура детского организма и ее развитие в процессе роста могут послужить моделью эволюции сложных организмов на их ранних стадиях и позволить оценить роль различных внешних факторов в их формировании. В клинике Миннесотского университета на протяжении 26 мес после рождения у младенца почти непрерывно измеряли основные физиологические показатели. Полученные данные показали, что систолическое и диастолическое кровяное давление и pH крови имеют амплитуды инфрадианных ритмов, существенно преобладающие над суточной

<sup>6</sup> Breus T. K., Cornelissen G., Halberg F., Levitin A. // Ann. Geophysicae. 1995. V.13. P.1211–1222.



амплитудой в первые месяцы жизни. Вскоре этот результат был подтвержден другими исследователями около сотни детей как в США, так и в нашей стране<sup>7</sup>.

Итак, дети в первые месяцы жизни не ощущают ритма дня и ночи, а показатели их жизнедеятельности имеют значительную недельную амплитуду. Интересно, что у единственного пока ребенка, показатели которого удалось регистрировать длительное время, суточный ритм проявился только на пятом месяце жизни. Выяснилось, что подобное соотношение амплитуд ритмов у детей в младенческом возрасте критично для их выживания и что его нарушение в первые недели жизни приводит позднее к внезапной смерти. Видимо, биологическая неделя получила приоритет в иерархии эндогенных ритмов у тех биосистем, время жизни

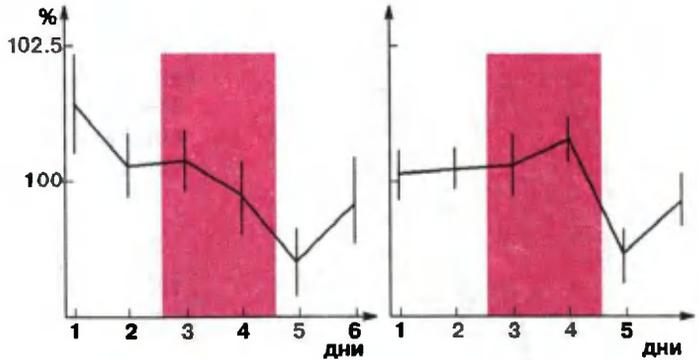
*Вариации pH крови ребенка, наблюдавшегося в клинике Миннесотского университета на протяжении нескольких недель после рождения. Цветная кривая — аппроксимация данных с периодами ритмов 28 и 178 час, дающая результаты, которые лучше чем результаты кривой, соответствующей точным суточному и недельному периодам (по: Breus T.K., Cornelissen G., Halberg F., 1995).*

которых превышало неделю, а участвовавший в ее формировании внешний фактор преобладал над другими.

Мы располагали данными длительных измерений различных функциональных показателей организма. Они были получены в основном добровольцами (исследователями-медиками) в результате продолжительного самонаблюдения. У взрослого активного человека ритм календарной недели — доминирующий внешний фактор, который, видимо, синхронизирует по фазе его внутренние ритмы. На фоне этого мощного синхронизатора

<sup>7</sup>Бреус Т.К., Халберг Ф., Корнелиссен Ж. //Биофизика. 1995. Т.40. № 4. С.737.

Влияние ориентации  $V_2$  компоненты ММП (смена ориентации показана цветом) на физиологические показатели здорового мужчины: частоту сердечных сокращений (слева), частоту дыхания (8 5819 измерений). По оси ординат — отношение средних значений параметра за два дня, содержащих смену знака  $V_2$ , к среднему значению за шесть исследованных дней (%); вертикальные отрезки — стандартное отклонение.



трудно выделить воздействие более слабых времядатчиков того же периода. Оказалось, однако, что частоты сердечных сокращений и дыхания здорового мужчины, которые он измерял у себя по несколько раз в сутки на протяжении 16 лет (начиная с 27 лет), реагируют на смену знака  $V_2$  ММП. Вариации систолического и диастолического давлений другого врача-энтузиаста (36 лет), проводившего самонаблюдения в течение трех лет, имели достаточно высокий коэффициент корреляции (0.6) с Кр-индексом<sup>8</sup> для 28-дневного периода ( $P=0.025$ ). Коэффициент корреляции аналогичных показателей для новорожденного, длительно наблюдавшегося в Миннесоте, с локальным К-индексом геомагнитной активности для околонедельного периода составлял 0.7 ( $P \gg 0.005$ ), а с  $V_2$  ММП для полунедельного периода — 0.75 ( $P \gg 0.008$ ). Синхронизация ритмов физиологических показателей детей с ритмами гелиогеофизических показателей, как и ожидалось, более выражена, чем у взрослых.

Для подтверждения взаимной обусловленности выявленных корреляций сопоставлялась динамика ритмов медицинских и гелиогеофизических показателей в цикле солнечной активности. Если околонедельный ритм солнечной активности

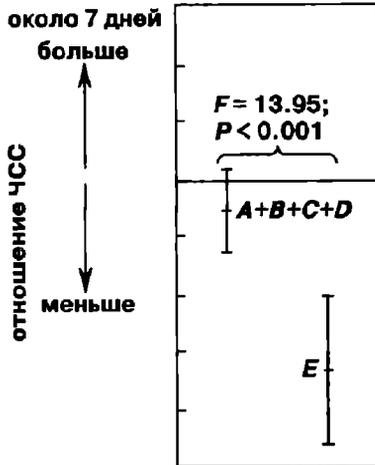
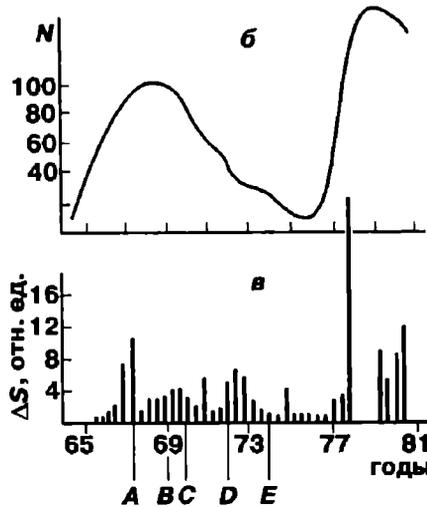
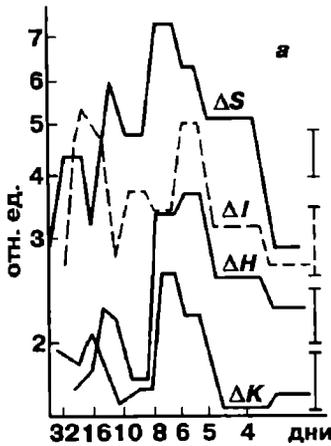
— времядатчик биологического ритма, то вариации обоих показателей должны быть синхронизованы на протяжении цикла солнечной активности.

Анализ показал, что амплитуда околонедельного ритма вариаций площади солнечных пятен ( $\Delta Sp$ ) очень мала или вовсе отсутствует в годы минимума солнечной активности и максимальна во время ее роста и снижения<sup>9</sup>. Отношения амплитуд околонедельного и суточного ритмов частоты сердечных сокращений здоровых мужчин имеет достоверно низкие значения в те же периоды. Такую синхронность динамики биологических и гелиогеомагнитных ритмов в цикле солнечной активности можно считать важным аргументом в пользу эволюционного формирования биологической недели именно под влиянием ритмов солнечной активности.

Что же происходит с животными под действием естественных электромагнитных возмущений? На медицинском факультете Университета дружбы народов под руководством профессора В.А.Фролова изучались сезонные эффекты по показателям работы сердечно-сосудистой системы кроликов. После измерений функциональных характеристик деятельности сердца и анализов крови животных умерщвляли и исследовали ультраструктуру кардиомиоцитов — клеток сердечной мышцы (каждые три часа по

<sup>8</sup> Кр-индекс характеризует максимальную амплитуду вариаций горизонтальной составляющей геомагнитного поля за каждые три часа суток, выраженную в 10-балльной шкале. Этот индекс определяется для каждой геомагнитной обсерватории мировой сети (К-локальная), а затем усредняется.

<sup>9</sup> Вернова Е.С., Почтарев В.И., Птицина Н.Г. и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 1983. Т.23. С.425.

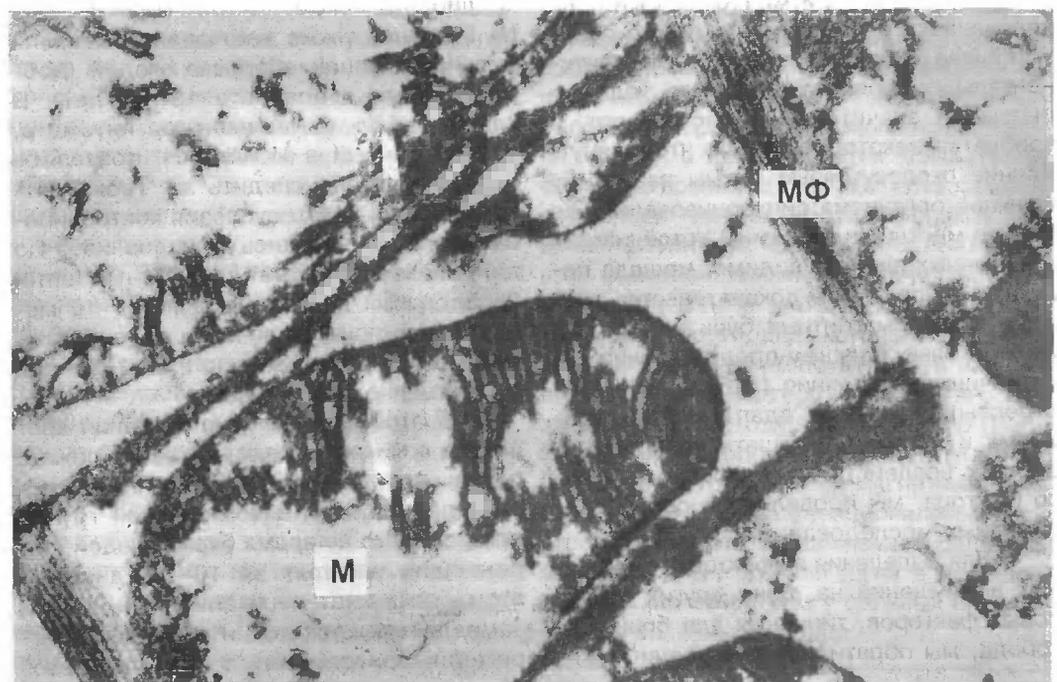
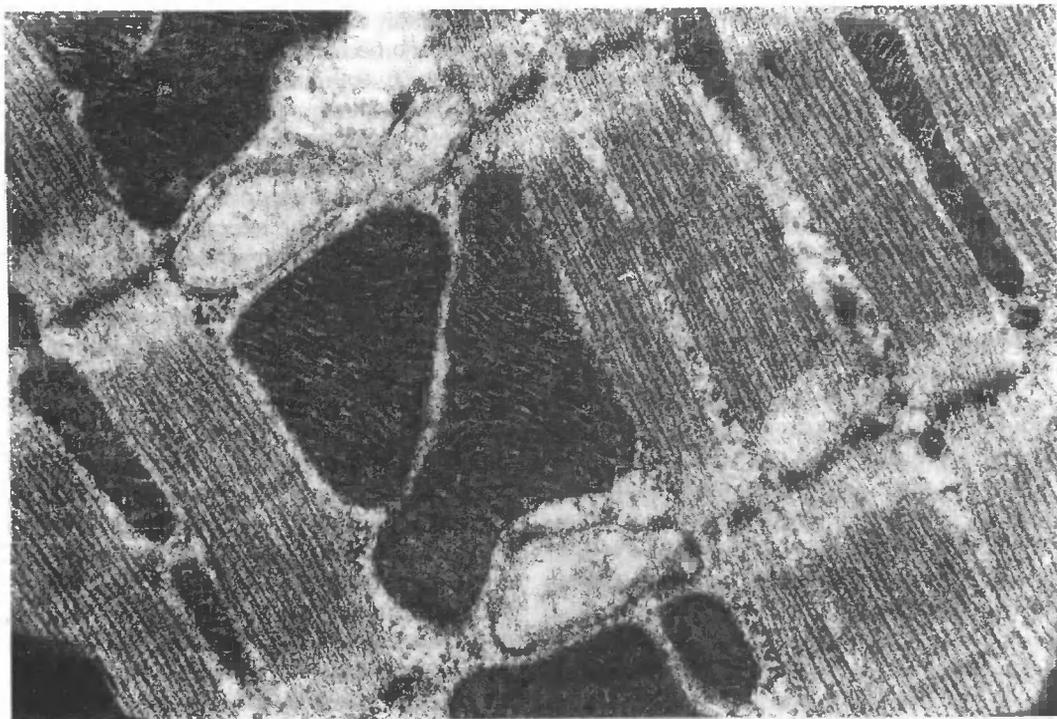


Синхронность вариаций ритмов гелиогеомагнитных факторов и частоты сердечных сокращений у здорового человека. Вверху — вариации гелиогеомагнитных факторов в цикле солнечной активности: а — годовые спектры площади солнечных пятен ( $\Delta S$ ), интенсивности космических лучей ( $\Delta I$ ), горизонтальной составляющей геомагнитного поля ( $\Delta H$ ), и индекса геомагнитной активности ( $\Delta K_r$ ); вариации в цикле солнечной активности: б — число Вальфа ( $N$ ), в — среднегодовой амплитуды,  $\Delta S$  (вертикальные отрезки). Буквами  $A, B, C, D$  и  $E$  отмечены интервалы времени, когда измерялась частота сердечных сокращений. Внизу — сравнение средних значений отношений амплитуд около недельного и суточного ритмов частоты сердечных сокращений здорового человека за разные ( $A, B, C, D, E$ ) годы. Видно, что среднее значение за период ( $A+B+C+D$ ) около недельных амплитуд как частоты сердечных сокращений, так и  $\Delta S$ , (в) были выше, чем в период  $E$ .

пять кроликов одной популяции) с помощью электронного микроскопа. Такие измерения проводились несколько лет в течение трех суток на протяжении четырех сезонов года.

Благодаря хорошо отработанным методам и регулярности наблюдений удалось обнаружить, что в один из равноденственных сезонов функциональные характеристики сердечной деятельности и показатели крови у кроликов, а также ультраструктура их кардиомиоцитов поразительно отличались от хорошо известных и типичных для данного сезона. В этот сезон измерения совпали с геомагнитной бурей. Оказалось, что в спокойных геомагнитных условиях клеточные

структуры имели четкий рисунок, а во время бури происходили расплавление и разрыв миофибрилл, набухание митохондрий, разрывы их внутренней и наружной мембран, появлялись липидные включения в клетке и другие специфические изменения. Сезонные вариации ни разу не приводили к столь глубоким нарушениям. Однако аналогичные деструкции и деградации отмечались в экспериментах с искусственно создававшимся стресс-воздействием на кроликов. Гиперфункция ультраструктуры кардиомиоцитов во время бури сопровождалась глубокими функциональными расстройствами, а именно десинхронизмом в сердечно-сосудистой системе: резко снижа-



Фрагмент кардиомиоцита (клетки сердечной ткани) кралика в спокойных геомагнитных условиях (вверху) и во время геомагнитной бури. М — митохондрии, МФ — миофибриллы. Видно, что во время бури наблюдается разрыв миофибрилл и набухание митохондрий (по: Чибисов С.М., 1995).

лась амплитуда суточных изменений сократительной силы сердца, т.е. почти отсутствовали циркадианные ритмы, их периоды смещались в инфрадианную область. После магнитной бури циркадианные ритмы начинали восстанавливаться, однако их амплитуды оказывались выше нормы. Эксперименты с кроликами свидетельствовали, что реакция животных на магнитную бурю протекала по типу адаптационного стресса, возникающего в ответ на воздействие неспецифического агента<sup>10</sup>.

Итак, синхронность вариаций околонедельных биологических и гелиогеофизических ритмов в цикле солнечной активности и наличие адаптационной стресс-реакции у животных на возмущение этого времядатчика подтвердили правильность выбранного направления исследований.

#### ВЫЗЫВАЕТ ЛИ МАГНИТНАЯ БУРЯ СТРЕСС?

Эндогенная ритмическая структура человеческого организма в норме очень устойчива. Как известно, при межконтинентальных перелетах здоровые люди испытывают значительный дискомфорт, и требуется некоторое время, чтобы внутренние околосуточные ритмы различных функций организма синхронизовались по фазе с местными "часами". Устойчивость эндогенных ритмов, видимо, мешала получать однозначные доказательства воздействия геомагнитных бурь на человека. Поскольку в нашем представлении неустойчивые состояния (заболевания или стрессы) ослабляют адаптивность организма и должны повышать восприимчивость к воздействию гелиогеомагнитного фактора, мы провели две серии специальных исследований.

Для выделения эффектов геомагнитных возмущений на фоне других стрессовых факторов, типичных для большого города, мы обратились к сведениям ме-

дицинской скорой помощи Москвы. Анализ этого банка данных за 1979—1981 гг. (свыше 6 млн случаев, относящихся к заболеваниям сердечно-сосудистой системы, а также нервным кризам, уличным происшествиям и автомобильным авариям) показал, что имеется достоверная зависимость между ежедневным числом инфарктов миокарда и периодами в спектре вариаций  $B_2$  ММП порядка 26.94, 14.75 и 7.68 суток. В дни больших магнитных бурь количество инфарктов миокарда возрастало на 13% и на 7.5% — число инсультов головного мозга<sup>11</sup>.

Следовало ожидать, что в группах риска, а именно у людей, находящихся в состоянии внутреннего (заболевание) или внешнего стресса (космонавты в состоянии невесомости), воздействие геомагнитных возмущений должно проявляться отчетливее. В течение более трех лет продолжались специальные исследования в Центральной клинической больнице № 3 МПС и года — в Российском кардиологическом центре АМН. В ЦКБ № 3 велись также наблюдения за контрольной группой здоровых людей (добровольцами в возрасте 19—50 лет). В клинике был установлен магнитометр, разработанный в ИЗМИРАН, позволяющий оперативно следить за "геомагнитной погодой". Метеоусловия контролировались и учитывались при анализе. По данным за 1994—1997 гг. (144 пациента, 26 здоровых лиц), установлено, что медицинские показатели больных во время магнитной бури примерно в 50% случаев существенно ухудшались.

В этой клинике исследования кровотока в микрососудах ногтевого ложа с помощью телевизионного капилляроскопа у пациентов и в контрольной группе показали, что во время бури у людей, перенесших инфаркт за 10—12 дней до этого, возникает перикапиллярный отек, замедляется кровоток и происходит агрегация эритроцитов, т.е. ослабляется

<sup>10</sup>Чибицов С.М., Бреус Т.К., Левитин А.Е., Дрогова Г.М. // Биофизика. 1995. Т.40. № 5. С.959.

<sup>11</sup>Villoresi G., Breus T.K., Iucci N., Dorman L.I., Rapoport S.I. // Physica Medica. 1994. V.10. №3. P.79.

насосная функция сердца и увеличивается вязкость крови<sup>12</sup>. В контрольной группе аналогичные эффекты также наблюдались в 40% случаев (сопровождаясь иногда изменениями компенсаторного характера), но быстро пропадали. Здоровые люди при этом или вовсе не ощущали недомогания, или оно было слабым — головная боль, вялость. У больных эффекты сопровождались жалобами (что также фиксировалось характером кардиограммы и изменениями кровяного давления), которые снимались только интенсивной терапией. Несмотря на то, что такие эффекты отмечались не для всех бурь и не у всех пациентов, они дают основания рекомендовать медицинскую профилактику во время геомагнитных бурь в отделениях интенсивной терапии.

Во второй группе риска изучались данные медицинского контроля космонавтов во время пребывания в космосе. Сердечно-сосудистая система космонавтов функционирует в условиях стресса, связанного с состоянием невесомости. На космических кораблях воздействие сильных геомагнитных возмущений почти такое же, как и на Земле, а метео- и фоновые условия (техногенные шумы) существенно отличаются. Кроме того, ряд других агентов, долгое время рассматриваемых в качестве биотропных факторов (например, акустические шумы и метеофакторы), видимо, "работают" только на Земле. Теперь возникла уникальная возможность исследовать природу биотропного фактора, действующего на космонавтов. Сначала мы проанализировали архивные данные, полученные на 32-м витке полета у всех 49 членов экипажей транспортного корабля "Союз" во время экспедиций 1986—1995 гг. Этот виток, последний перед стыковкой с орбитальной станцией "Мир", выбрали потому, что на нем у космонавтов почти нормализуются функции организма после стрессовых перегрузок на предыдущих этапах полета. Эффекты бури оценивались по данным наблюдений за

восемью космонавтами, летавшими в дни геомагнитных бурь, и сравнивались с показателями девяти космонавтов, летавших через трое-семеро суток после магнитных бурь, и 32 космонавтов, полеты которых на том же витке совпадали со спокойными геомагнитными условиями. Медицинский анализ проводился на основании непрерывной записи электрокардиограммы по методу Холтера (мониторирование по Холтеру), а обработка данных — по известной методике Р.М.Баевского (под его руководством).

У всех космонавтов, летавших во время геомагнитных бурь, изменялся сосудистый тонус и активизировались центры симпатического звена вегетативной регуляции, что вызывало рост и стабилизацию частоты сердечных сокращений, падение variability сердечного ритма и мощности дыхательных волн<sup>13</sup>.

Если космонавты возвращались на Землю во время бури, они адаптировались к нашим условиям дольше обычного. Наконец, у двух космонавтов на станции "Мир" (1996), физиологические показатели которых фиксировались во время геомагнитной бури в течение 58 час, наблюдались те же функциональные расстройства, что и у космонавтов корабля "Союз", а динамика этих показателей соответствовала динамике показателей сердечной деятельности кроликов во время различных фаз бури<sup>14</sup>. Аналогичные функциональные изменения наблюдались на Земле у больных ишемической болезнью сердца, которым проводили мониторинг показателей его деятельности по Холтеру и анализ его результатов по методу Р.М.Баевского (Российский кардиологический центр АМН). Оказалось, что во время магнитных бурь у космонавтов из-за функциональных расстройств частота сердечных сокращений менялась в той же или даже в большей степени (на 30%), чем у больных ишемической болезнью сердца.

<sup>12</sup> Гурфинкель Ю. И. и др. // Биофизика. 1995. Т.40. Вып.4. С.793.

<sup>13</sup> Ораевский В. Н., Баевский Р. М. и др. // Биофизика. 1997.

<sup>14</sup> Бреус Т. К., Баевский Р. М., Чибисов С. М. и др. // Биофизика. 1997.

Поскольку у космонавтов и у остальных обитателей Земли выявлена сходная реакция на геомагнитную бурю, можно заключить, что из всех обсуждавшихся ранее возможных биотропных факторов электромагнитные поля оказались наиболее подходящими. Очевидно также, что неспецифическая адаптивная стресс-реакция возникает в ответ на резкие изменения этого датчика инфрадианных ритмов во время геомагнитных возмущений. Разумеется, остается еще множество нерешенных вопросов, а также данных, требующих подтверждения. Особенно актуальны вопросы о специфических особенностях реакции и о природе первичных детекторов геомагнитного возмущения в биологических организмах.

Поскольку неспецифическая адаптивная стресс-реакция, как известно, сопровождается повышенной секрецией гормонов, мы изучили влияние геомагнитной бури на секрецию стероидных гормонов и биогенных аминов, обеспечивающих приспособительные свойства организма у практически здоровых людей и у больных ишемической болезнью сердца. И у тех, и у других возрастал уровень кортизола в суточной моче. У людей, страдающих гипертонией и ишемией сердца, также повышалась секреция ряда биогенных аминов (норадреналина и дофамина), что свидетельствовало о реакции стресса на магнитную бурю и хорошо согласовывалось с данными клинических наблюдений и наблюдений за реакциями космонавтов.

Существует предположение, что

электромагнитное возмущение через эпифиз модулирует суточный ритм продукции мелатонина, приводя к изменению суточной ритмики физиологических параметров и возникновению их десинхронизации. Известно, что постоянное магнитное поле умеренной напряженности подавляет синтез мелатонина у животных, а сезонные вариации содержания этого гормона у них следуют за сезонными вариациями горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. В специальных исследованиях группы под руководством С.И.Рапопорта показано, что магнитные бури угнетают продукцию мелатонина у больных ишемией сердца и гипертонической болезнью по сравнению с их фоном, уже относительно измененным вследствие основной патологии<sup>15</sup>. Это с большой вероятностью означает, что эпифиз вовлекается в реакцию на магнитную бурю. Вполне возможно, что дальнейшие исследования прольют свет на участие мелатонина в формировании хронома структуры живых организмов и позволят лучше разобраться в проблеме детекторов электромагнитных полей в биологических системах.

**Автор выражает глубокую благодарность С.Э.Шнолю за неизменную поддержку наших работ и помощь в публикации.**

---

<sup>15</sup> Рапопорт С.И., Большакова Т.Д. и др. //Биофизика. 1997; Semm P., Schneider T., Vollaren L. //Nature. 1980. V.2288. P.607.

## Экология, обретающая статус науки

А. М. Гиляров



*Алексей Меркурьевич Гиляров, доктор биологических наук, профессор биологического факультета МГУ. Основные труды посвящены экологии планктона, биоразнообразию, а также истории науки. Автор учебника «Популяционная экология» (М., 1991). Неоднократно публиковался в журнале «Природа».*

**МАГИЯ** чисел, особенно кратных крупным разрядам нашей десятичной системы, всегда завораживает. Подходя к концу тысячелетия, историки, политологи и культурологи начинают подводить итоги соответствующих форм человеческой деятельности и, возможно, будут даже пытаться угадать перспективы — каждый в своей области. Специалисты по истории и методологии науки скорее всего тоже включатся в глобальное подведение итогов, тем более что наука в текущем столетии, может быть, даже против своей воли, уже заняла такое место, которого она определенно не занимала в веке девятнадцатом.

История экологии с позиции человека конца XX в. может быть особенно интересна и в некотором роде поучительна. Само слово «экология», пущенное в обиход Эрнстом Геккелем в 1866 г., на рубеже XIX и XX вв. было известно только очень ограниченному кругу лиц. Не случайно ранние биографы Геккеля, говоря о его заслугах на разных поприщах, авторство термина «экология» даже не упоминают. Теперь же слово, когда-то использовавшееся горсткой специалистов, стало своего рода знаменем времени, а разнообразие вкладываемых в него конкретных смыслов столь велико, что вряд ли поддается описанию.

Основное содержание экологии в наши дни<sup>1</sup> безусловно отличается от

© А.М.Гиляров

<sup>1</sup> В самых общих чертах экологию можно определить как науку о живом облике биосферы. Широкой известностью пользуется также определение экологии, данное Чарлзом Кребсом: «изучение взаимодействий, обуславливающих распределение и обилие организмов» (Krebs C.J. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. N.Y., 1985). Последняя дефиниция при кажущейся на первый взгляд ограниченности (или профессиональной приземленности) на самом деле оказывается по-своему точной и как бы задающей программу конкретных действий.

того, что было характерно для нее в начале века, в его середине и даже в 70-е годы. Однако происходящие в этой науке перемены очень трудно представить себе как четкую последовательность сменяющих друг друга парадигм. Образ дерева, от основного ствола которого отходят крупные и мелкие ответвления (специализации), также мало подходит для описания становления экологии. Реально мы видим длительное сосуществование различных линий исследования, т.е. различных деревьев, имеющих самостоятельные корни, иногда сближающихся (и даже срастающихся), а иногда расходящихся.

Начало, объединяющее работы одной линии, — некая концептуальная основа, **теория** в самом широком смысле этого слова. Нередко она проявляется только как круг задач, рассматриваемых в конкретных работах, или же как набор интерпретаций полученных результатов (впрочем, одно от другого совершенно неотделимо). Важная роль принадлежит и специфике объектов исследования. Так, например, работы, посвященные фитопланктону, образуют самостоятельную группу, отличную от работ, посвященных луговой растительности или мышевидным грызунам. Помимо различий в чисто эмпирическом материале подобные группы конкретных исследований до некоторой степени отличаются и концептуально, прежде всего потому, что существуют определенные традиции изучения тех или иных организмов.

Однако вряд ли экология была бы самостоятельной наукой, если бы ее теоретическая основа ограничивалась такими локальными концепциями. С самого начала те, кто называл себя экологами, пытались осознать предмет своей деятельности как целостную дисциплину, призванную свести множество разнообразных фактов в стройную систему, вскрыть достаточно общие закономерности, а главное — объяснить и по возможности составить прогноз тех или иных явлений. Это стремление разработать универсаль-

ную теоретическую основу своей науки, открыть общие «законы» и определить соответствующие «константы» особенно четко проявлялось начиная с 20-х годов нашего столетия, с тех пор как началось активное формирование той экологии, которую мы знаем и сейчас. В течение всего этого времени объектом особой зависти многих экологов была классическая физика, служившая для них примером зрелой, «жесткой» науки, способной свести разнообразие изучаемых явлений к небольшому числу зависимостей, выраженных строгими математическими формулами и соответствующим набором констант.

#### «ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ»

Совсем не случайно одна из первых и безусловно выдающихся работ в области теоретической экологии — книга американского ученого Альфреда Лотки — называлась «Элементы физической биологии»<sup>2</sup>. Альфред Джеймс Лотка родился в 1880 г. во Львове — городе, который тогда находился на территории Австро-Венгрии и именовался Лембергом. Затем Лотка учился в Германии и во Франции, а степень бакалавра в области физики и химии получил в Англии. С дипломом бакалавра он для продолжения своего образования приезжает в 1901 г. в Лейпциг, где как раз в это время активно работает один из основателей физической химии — Вильгельм Фридрих Оствальд. В своих лекциях Оствальд отстаивал значение термодинамических принципов и особенно энергетического подхода, призванного, как он считал, стать организующим началом для физических и биологических наук. Эти идеи оказали колоссальное влияние на Лотку, предпринявшего позднее (когда он уже работал в США) смелую попытку упорядочить биологию в соответствии с физическими принципами.

<sup>2</sup> Lotka A. Elements of Physical Biology. Baltimore, 1925.

Сам Лотка не считал себя экологом, а свою книгу адресовал прежде всего физикам и химикам, надеясь привлечь их внимание к сфере биологии, где они могли бы с успехом применить хорошо знакомые им принципы. Впрочем, физики труда Лотки не заметили, а вот экологи отреагировали очень быстро. Чарлз Адамс, автор небольшого, но самого первого появившегося в мире руководства по экологии животных<sup>3</sup>, направляет Лотке письмо, в котором дает очень высокую оценку его книге и советует вступить в Американское общество экологов.

Еще раньше на работы Лотки обратил внимание один из основателей популяционного направления в экологии — Раймонд Пёрл, который не только привлекает Лотку для непосредственного сотрудничества, но и всячески поддерживает его стремление написать книгу. Через Пёрла и профессора Московского университета В.В.Алпатов (работавшего некоторое время у Пёрла в Балтиморе) результаты исследований Лотки становятся известны студенту биологического отделения физико-математического факультета Московского университета Георгию Францевичу Гаузе, который сейчас же предпринимает смелую попытку экспериментально проверить предложенную Лоткой модель динамики взаимодействия хищника и жертвы. Впрочем, здесь мы забегаем несколько вперед.

Оценивая труд Лотки с современных позиций, его безусловно следует признать классическим. Но нельзя не согласиться и с американской исследовательницей Шейрон Кингслэнд<sup>4</sup>, заметившей, что книга Лотки обращена скорее в прошлое, чем в будущее. Так, очень важное место в ней занимает столь популярное для конца



*Альфред Джеймс Лотка (1880–1949) — автор книги «Элементы физической биологии» (1925), по сути первой крупной теоретической работы в области экологии. Лотка внес также громадный вклад в развитие демографии.*

XIX — начала XX в. представление о равновесии, об универсальности общих принципов регулирования систем. Отсюда — частые ссылки на Герберта Спенсера и Анри Ле Шателье.

Серьезное внимание Лотка уделяет и эволюции, причем рассматривая ее не в традиционном для биологии аспекте, т.е. не как изменение во времени организмов, а как эволюцию всей **биосферы** (хотя термин этот не использует, а предпочитает говорить только о крупных «биологических системах»). Согласно сформулированному Лоткой правилу, «направление эволюции таково, что суммарный поток энергии, проходящей через систему, достигает максимальной величины, возможной для данной системы». По-

<sup>3</sup> Adams C.C. Guide to the Study of Animal Ecology. N.Y., 1913.

<sup>4</sup> Kingsland S.E. Modeling Nature (Episodes in the History of Population Ecology). Chicago, 1985. Данная книга — безусловно одно из наиболее глубоких и полных описаний становления популяционной экологии. Недавно вышло второе ее издание.



*Раймонд Пёрл (1879–1940) — зоолог, демограф, специалист по биометрии, один из основоположников популяционной экологии, основатель всемирно известного журнала «Quarterly Review of Biology».*

ясняя это положение, автор рисует образ громадного мельничного колеса, получающего энергию от Солнца и теряющего ее в виде тепла. Естественный отбор должен при этом действовать так, чтобы увеличить само «колесо» (т.е. массу системы) или же заставить его вращаться быстрее (повышая тем самым скорость циркуляции вещества). В обоих случаях поток энергии через систему возрастает. Человек участвует и в том, и в другом процессе и, сам того не сознавая, подчиняется общему закону природы.

Развивая свои общие представления об организации, эволюции и динамике биологических систем, Лотка со свойственной ему обстоятельностью приводит и уравнения, описывающие взаимодействия популяций (в частности, связанных отношениями типа хищ-

ник—жертва). В книге описание этих моделей занимает всего несколько страниц, но впоследствии именно они чаще всего и служили поводом для очень частого цитирования данной работы в экологической литературе на протяжении по крайней мере нескольких десятилетий.

#### «ЗОЛОТОЙ ВЕК ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ»

Двадцатые—сороковые годы вполне заслуженно называют «золотым веком теоретической экологии»<sup>5</sup>. Помимо Лотки в разработке математических моделей взаимодействующих популяций участвует в это время целый ряд видных специалистов (главным образом математиков) из разных стран, в том числе итальянец Вито Вольтерра, русский А.Н.Колмогоров, русский (живущий во Франции) В.А.Костицын, австралийцы А.Николсон и В.Бейли.

Для того чтобы описать процесс роста населения США, Раймонд Пёрл предлагает в 20-х годах (совместно с Ридом) так называемую логистическую модель, согласно которой удельная скорость роста популяции ( $dN/Ndt$ ) по мере увеличения численности популяции ( $N$ ) снижается линейно, вплоть до нуля при достижении некоторой равновесной численности  $K$ . График же изменения численности выглядит как S-образная кривая, выходящая на плато при  $N=K$ . Когда логистическая формула была опубликована, выяснилось, что еще в 1838 г. она предлагалась бельгийским математиком Пьером Франсуа Ферхюльстом для описания роста народонаселения.

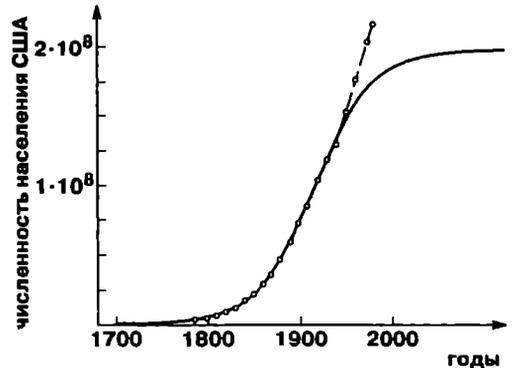
Пёрл (сразу признавший приоритет Ферхюльста) увидел в простой формуле логистического роста универ-

<sup>5</sup> Кажется, впервые это выражение употребили Ф.Скудо и Дж.Зиглер, назвав так том избранных работ Вольтерры, Лотки, Костицына и Колмогорова (The Golden Age of Theoretical Ecology: 1923—1940. A Collection of Works by Volterra, Kostitzin, Lotka, and Kolmogoroff / Eds. Scudo F.M. and Ziegler J.R. Berlin, 1978).

сальную закономерность, аналогичную почти что законам Ньютона. Одно время он даже утверждал, что любой органический рост (например, увеличение числа клеток по мере развития организма) соответствует логистической кривой, и подобно тому как мы не объясняем законы Ньютона, но вынуждены искать объяснения тем случаям, когда нам кажется, что законы эти не соблюдаются, так и в экологии объяснения заслуживают только отклонения от логистической формулы. Нельзя сказать, что точка зрения Пёрла нашла широкую поддержку среди коллег, но по-своему она очень характерна для экологии 20—30-х годов. Фактически Пёрл назвал своими именами и подчеркнул то, что другие принимали по молчаливому уговору.

Расцвет теоретической экологии в 20—40-е годы объясняется прежде всего тем, что к этому времени сложилась явная диспропорция между бурным накоплением конкретного эмпирического материала и очень слабым его осмыслением в рамках каких-либо обобщающих понятий. Желание обрести теорию, было столь сильным, что экологи готовы были принять почти все, что могли предложить им представители других наук, пользующихся вполне заслуженной славой «точных». Фактически теоретическая основа экологии, сформулированная в 20—40-х годах и в значительной своей части сохраняющаяся в учебниках до наших дней, — это система чисто дедуктивных построений, основанных на идеях о равновесных системах и их вероятном поведении при принятии некоторых простых допущений. Такая теория говорит только о «возможном в принципе», но не указывает, какая из многих возможностей реализуется на практике. И простая логистическая кривая Ферхюльста—Пёрла, и гораздо более сложные модели взаимодействия популяций, предложенные Вольтеррой и Лоткой, — все это типичные примеры именно таких дедуктивных построений.

Так, предположение о линейном



*Рост численности населения США по прогнозу Пёрла и его коллег — согласно логистической кривой (сплошная линия), и как он происходил на самом деле (кружки).*

снижении удельной скорости роста популяции при увеличении ее численности может соответствовать, а может и не соответствовать действительности. Во всяком случае, предпринятая в 60-е годы попытка оценить данную зависимость непосредственно в экспериментах на лабораторных культурах дафний показала, что связь эта — не линейная, а описывается вогнутой кривой. Численность населения США, динамика которой до 40-х годов хорошо описывалась логистической формулой, в 50—60-е годы не вышла, однако, на плато, как того требовала модель, а продолжала расти. Странным образом это вопиющее нарушение предсказаний модели не смутило экологов, и логистическая формула по-прежнему фигурировала в учебниках в качестве примера важного теоретического обобщения.

Еще более парадоксальная ситуация сложилась с моделями взаимодействия популяций. Согласно системе уравнений, предложенных Лоткой, а затем Вольтеррой, популяции хищника и жертвы должны демонстрировать регулярные колебания численности, определяемые исключительно внутренними взаимодействиями компонентов данной системы. Узнав об этой модели, молодой московский зоолог Гаузе (ему тогда было 20 лет) попробовал



Георгий Францевич Гаузе (1910—1986). В 1934 г. (когда Гаузе было всего 24 года) в США при содействии Пёрла была опубликована на английском языке его книга «Борьба за существование» («*The Struggle for Existence*»), оказавшая громадное влияние на становление экологии. В годы войны Гаузе (работая вместе со своей супругой М.Г.Бражниковой) получил первый оригинальный отечественный антибиотик — грамицидин С. В послевоенные годы Гаузе руководил Научно-исследовательским институтом по изысканию новых антибиотиков. Снимок (любезно предоставленный автору сыном Гаузе — Г.Г.Гаузе) сделан в экспедиции на Кавказе в 1931 г.

сразу создать ее экспериментальный аналог, используя популяции двух видов инфузорий — *Paramecium aurelia* (жертвы) и *Didinium nasutum* (хищника). Однако получить колебания этих видов не удалось: вслед за вспышкой численности жертвы резко возростала численность хищника, который затем съедал всех жертв и погибал сам. Если же для жертв создавалось укрытие, то часть популяции жертв становилась недоступной хищнику и он вымирал от голода, после чего численность жертв полностью восстанавливалась.

Попытки создания сложных экспериментов с взаимодействующими популяциями хищника и жертвы в дальнейшем предпринимались неоднократно, но если колебательный режим в них и возникал, то держался он очень недолго. Немало усилий было потрачено и на обнаружение колебаний хищник—жертва в природе, но в большинстве случаев эти колебания оказывались результатом следования хищника за меняющейся плотностью жертв, а не результатом взаимодействия этих популяций, их взаимной обусловленности.

То, что модель, предсказывающая возникновение сопряженных колебаний хищника и жертвы, не подтверждалась эмпирическими данными, сейчас, после проведения ряда дополнительных исследований, не кажется удивительным. Модифицирующее влияние многих факторов, контролирующих каждую из популяций, может быть столь сильным, что эффект собственно взаимодействия последних становится практически незаметным. Удивительно другое, а именно то, что модель явления, не наблюдаемого реально, на протяжении многих десятилетий служила (а судя по учебникам — и продолжает служить!) одним из основных элементов экологической теории.

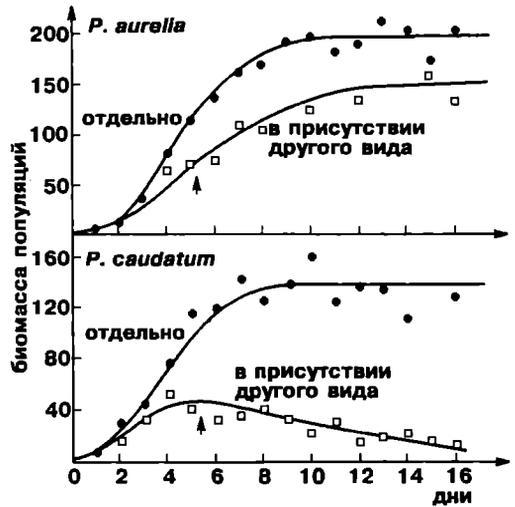
Не менее парадоксальной была и ситуация с моделью конкурентного вытеснения (математически также разработанной Вольтеррой и — независимо — Лоткой), предсказывающей, что два вида, конкурирующих из-за одной и той же пищи (и этой пищей ограниченных), не могут устойчиво сосуществовать. Экспериментальная ее проверка, также предпринятая Гаузе, казалась гораздо более удачной, чем это было в случае с системой хищник—жертва. Два близких вида инфузорий, *Paramecium caudatum* и *Paramecium aurelia*, при кормлении их одним видом бактерий не могли сосуществовать: *P.aurelia* вытесняла *P.caudatum*. Однако механизм вытеснения определялся не столько самой конкуренцией, сколько различиями в способности видов противостоять хищ-

нику. Что же касается эксперимента Гаузе, то, стремясь поддерживать конкурирующие популяции в состоянии активного роста, экспериментатор ежедневно удалял часть объема жидкости вместе с содержащимися в ней инфузориями (т.е. выступал как «безвыборочный хищник»), а скорость воспроизводства у *P.aurelia* оказалась выше, чем у *P.caudatum*.

Изучая механизм конкуренции, Гаузе осуществил целый ряд опытов с простейшими, бактериями и дрожжами. Выявленная картина оказалась довольно сложной: коэффициенты конкуренции для одной и той же пары видов не оставались постоянными в процессе их взаимодействия, а меняли свою величину, порой даже знак (т.е. рост численности одного вида начинал положительно воздействовать на рост другого). Кроме того, исход конкуренции иногда зависел от, казалось бы, незначительного изменения внешних условий, а для некоторых пар видов конкурентного вытеснения вообще не обнаруживалось.

Несмотря на такие, не всегда легко трактуемые, результаты, Гаузе все же посчитал, что теоретический вывод Вольтерры и Лотки заслуживает статуса универсального правила, согласно которому два вида, занимающих одну экологическую нишу, не могут устойчиво сосуществовать в одном месте. Формулируя это правило, Гаузе учел реальный опыт натуралистов (в частности, наблюдения Александра Николаевича Формозова, подметившего тонкое разделение мест и способов добывания пищи у близких видов крачек<sup>6</sup>).

Надо сказать, что универсальность принципа конкурентного вытеснения («закона Гаузе») не раз подвергалась сомнению. Кроме того, очевидно справедливы были и упреки в тавтологичности данного принципа. Ведь для сосуществующих видов, даже



Рост биомассы (точнее — объема, занимаемого особями) популяций двух видов инфузорий (*Paramecium aurelia* и *Paramecium caudatum*) при их изолированном культивировании (темные кружки) и в смешанной культуре (светлые квадратики). В отсутствие конкурентов каждый из видов демонстрирует рост, близкий к логистическому, однако при смешанном культивировании *P.aurelia* (более сильный конкурент) вытесняет *P.caudatum*. Рисунок из книги Г.Ф.Гаузе «Борьба за существование».

близких, всегда можно обнаружить какие-то различия в экологии, а посчитав эти различия за свидетельства принадлежности данных видов к разным нишам, соответственно и «оправдать» их сосуществование без формального нарушения принципа конкурентного исключения. Несмотря на очевидные изъяны, принцип конкурентного исключения продолжал пользоваться большой популярностью, поскольку определенным образом организовывал рост научного знания.

#### ОСОБОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЭКОСИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимо заметить, что небольшой набор математических моделей, составивший в 20—40-х годах основу «экологической теории», касался далеко не всей экологии, а только популяционного подхода, имеющего

<sup>6</sup> Об этих наблюдениях см.: Hutchinson G.E., Formozov N.A. The role of A.N.Formozov in the development of ecological theory // Archives of Natural History. 1989. V.16. P.143—145.



*Георгий Георгиевич Винберг (1905—1986) — выдающийся российский гидробиолог, создатель производственного направления в гидробиологии. В 1932 г. на оз. Белом в Косине (сейчас это территория Москвы) провел ставшие классическими исследования по оценке первичной продукции фитопланктона с помощью метода «темных и светлых склянок».*

дело с **распределением организмов в пространстве—времени** (см. приведенное выше определение экологии, данное Ч.Кребсом). Однако содержание экологии не исчерпывалось этим подходом. Другая, давно существующая в ней традиция, — это экосистемный подход, концентрирующий на изучении роли организмов в **процессах трансформации вещества и энергии** в природе.

Хотя сам термин «экосистема» довольно поздно происхождения (он был предложен английским экологом Артуром Тенсли в 1935 г.), некоторые природные объекты фактически трактовались исследователями как экосистемы

значительно раньше. Особо заметный прогресс был достигнут в изучении озер<sup>7</sup>. Так, уже в начале века американский лимнолог Эдвард Бёрдж пытался количественно оценить «дыхание озера», т.е. динамику процессов кислородного обмена, в котором участвуют как физические, так и биологические процессы. В 30-х годах замечательные успехи в изучении трансформации вещества и энергии в озерах были достигнуты на Косинской лимнологической станции под Москвой в рамках так называемого «балансового подхода», основные идеи которого были сформулированы Леонидом Леонидовичем Россолимо, возглавлявшим тогда работу станции. Именно по инициативе Россолимо на Косинских озерах в 1932 г. начинает свои, ставшие потом классическими, работы по оценке первичной продукции Георгий Георгиевич Винберг. Примененный им тогда метод «темных и светлых склянок» стал классическим. Суть его очень проста и заключалась в том, что проба воды, взятая с определенной глубины и содержащая организмы фито- и зоопланктона, разливалась в две небольшие, герметически закрывающиеся склянки (флаконы), из которых одна была прозрачного, светлого стекла, а другая — темная, не пропускающая свет. Склянки подвешивали на веревке на ту самую глубину, откуда изначально была взята проба. После суточной экспозиции их поднимали на поверхность и в каждой определяли содержание растворенного кислорода. Очевидно, что в светлой склянке происходило как дыхание всех организмов, так и фотосинтез фитопланктона; в темной же — только дыхание. По количеству выделившегося в процессе фотосинтеза кислорода можно было рассчитать и количество образовавшегося при этом органического вещества, т.е. величину первичной продукции.

В 1942 г. в журнале «Ecology»

<sup>7</sup> Роль, которую сыграла лимнология в становлении современной экологии, трудно переоценить. Подробнее об этом см.: Ghilarov A.M. The progress of ecology on the limnological road // Russian Journal of Aquatic Ecology. 1994. V.3. P.89—97.

публикуется получившая чрезвычайно широкую известность статья молодого американского исследователя Раймонда Линдемана «Трофо-динамический аспект экологии». Экосистема в этой работе определяется как «совокупность физико-химико-биологических процессов, протекающих в любых масштабах пространства—времени». Сейчас для нас очевидно, что данная дефиниция, безусловно, обгоняла свое время. Во-первых, в ней четко говорилось о функциональной, а не структурной основе экосистемы; во-вторых, подчеркивалось теснейшее взаимодействие процессов физических, химических и биологических; в-третьих, указывалось на возможную разномасштабность выделения экосистем в зависимости от конкретных особенностей круговорота вещества и потока энергии. Как стало сейчас известно<sup>8</sup>, опубликование статьи Линдемана шло с большим трудом — два рецензента (а это были очень авторитетные специалисты) дали отрицательные отзывы на рукопись, подчеркнув, что лимнология нуждается не в спекулятивных идеях, а в конкретных фактах. Возможной публикация стала только благодаря настойчивости учителя Линдемана, молодого, но уже известного профессора Дж.Эвелина Хатчинсона, который очень высоко оценил как содержащиеся в работе идеи, так и фактические данные. К сожалению, сам Линдеман уже не увидел свою статью опубликованной — он умер после тяжелой болезни на 27-м году жизни.

Для работ экосистемного подхода чрезвычайно характерен высокий уровень эмпиризма, в частности стремление дать всестороннее **описание и количественные оценки** изучаемых процессов. Выявленные при этом закономерности почти всегда выражаются как определенные количественные соотношения. Так, еще Линдеман, опираясь на теоретические построения и экспериментальные данные (в част-

ности, полученные нашим соотечественником Виктором Сергеевичем Ивлевым), предсказал, что экологическая эффективность (доля энергии, переходящей с одного трофического уровня на другой) должна составлять примерно 10%.

Экосистемный подход можно также назвать «номотетическим»<sup>9</sup>, в том смысле, что он стремится выявить количественно формулируемые «законы» (и соответствующие числовые «константы»), характеризующие трансформацию вещества и энергии в экосистемах. Помимо «экологической эффективности» (те самые 10%, на которые указал Линдеман) сюда относятся величина «усвояемости» (т.е. доля усвоенной организмами энергии от потребленной), «коэффициент использования усвоенной пищи на рост» (так называемый  $K_2$  Ивлева — величина, очень часто используемая отечественными гидробиологами в производственных расчетах) и даже отношение продукции к биомассе ( $P/B$  коэффициент).

Надо сказать, что все эти величины могут изменяться в довольно широких пределах и поэтому никакими константами, строго говоря, не являются. В качестве «констант» они выступают лишь в расчетах исследователей, стремящихся построить количественные схемы потоков вещества и энергии в экосистемах, причем результаты этих расчетов могут трактоваться только как «принципиально возможные». Другие величины, как правило, отражающие фундаментальные особенности физиологии и биохимии организмов, более постоянны. Например, у животных зависимость интенсивности обмена от массы тела описывается степенной функцией с показателем степени 0.75. Соответственно, зная количество и размерный состав животного населения на какой-то территории или акватории, можно рассчитать

<sup>8</sup> Cook R.E. Raymond Lindeman and the trophic-dynamic concept in ecology // Science. 1977. V.198. P.22—26.

<sup>9</sup> Видимо, первым на это обстоятельство обратил внимание Л.В.Полищук. См.: Polishchuk L.V. Population analysis and production approach: two trends in aquatic ecology // Russian Journal of Aquatic Ecology. 1992. V.1. P.3—8.

количество расходуемой ими энергии (или же эквивалентное количество потребленного кислорода).

Изучение химического состава океанического планктона показало, что соотношение в нем числа атомов углерода, азота и фосфора оценивается как 106 : 16 : 1. Это отношение, известное как «отношение Редфилда», есть эмпирически определенная величина (которая при некотором приближении может рассматриваться как константа), хотя известно, что для зоопланктона оно выдерживается гораздо более строго, чем для фитопланктона.

Константы, используемые в экосистемном подходе, на самом деле отражают единообразие физиологической и биохимической организации жизни. Более того, сам экосистемный подход возможен только благодаря тому, что число основных функций, осуществляемых организмами (иначе говоря, число «биогеохимических ролей»<sup>10</sup>), очень невелико по сравнению с колоссальным разнообразием форм, свойственных органическому миру. Например, результаты процесса фотосинтеза — в принципе одни и те же у самых разных растений. Соответственно, результаты эти можно суммировать и получить интегральную оценку активности всего сообщества сразу — неважно, будь то массив леса или фитопланктон пруда. Люди, стоявшие у истоков экосистемного подхода (Э.Бёрдж, Г.Г.Винберг, В.С.Ивлёв, Р.Лицдеман и другие), это очень хорошо понимали. К середине же столетия фактически все было готово для того, чтобы развернуть широко-масштабное изучение различных водных и наземных экосистем, важным элементом которого было сравнение количественных обобщающих характеристик, прежде всего первичной продукции и биомассы растений.

<sup>10</sup> Конечно, особое место в функционировании любой экосистемы и биосферы в целом занимают микроорганизмы, способные осуществлять практически все биогеохимические процессы. См. подробнее: Заварзин Г.А. Анти-Рынок в природе // Природа. 1995. № 3. С.46—60.

## ПОДВОДЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ИТОГИ

Глядя из нашего времени на путь, пройденный экологией в течение первой половины столетия, и зная, что произошло в этой науке за несколько последующих десятилетий, мы можем достаточно уверенно сказать, что ее идеология, ее теоретические основы не претерпели каких-либо принципиальных, тем более революционных изменений. Сложившись как научная дисциплина в 20—40-х годах нашего века, она развивалась дальше довольно плавно, хотя, конечно, в ней происходило некоторое смещение смысловых акцентов, в частности изменялись представления о том, какие задачи наиболее интересны и наиболее важны.

К 50-м годам экология — уже вполне сформировавшаяся наука, с обрисованным (хотя и остающимся очень широким) кругом задач, с настойчивыми попытками обрести некую концептуальную основу, а еще лучше — теорию, если и не равнозначную той, что существует в физике и химии, то во всяком случае хоть чем-то ее напоминающую. Представления о динамическом равновесии систем, об универсальности способов их регуляции, о существовании достаточного строгой «законов», описывающих динамику отдельных популяций или их взаимодействие, в значительной степени были привнесены извне и относились скорее к области потенциально возможного, чем реально наблюдаемого.

Стремление обрести теорию было очень важным для интеграции экологии, но все-таки результат не следует преувеличивать. Значительное число исследователей, считающих себя экологами или во всяком случае печатающих свои работы в экологических журналах (а с 20—30-х годов их существовало уже несколько и у них был высокий престиж), на самом деле ограничивались описанием наблюдаемого распределения организмов в пространстве—времени, стремясь, правда, связать его с теми или иными

факторами среды, например такими сравнительно легко оцениваемыми, как температура, влажность, особенности рельефа, солёность воды (для морских организмов) и т.п.

То, что подобные описания (нередко сопровождаемые количественными оценками) рассматривались как «самодостаточные», как вполне нормальный элемент экологической науки первой (а в значительной мере и второй) половины XX в., само по себе не должно нас удивлять.

Во-первых, прежде чем что-то **объяснять**, следует описать и постараться понять суть явлений, нуждающихся в объяснении. Явления же эти в сфере экологии сводились к множеству разнообразных конкретных ситуаций, в которых оказывалось множество разнообразных организмов. Все это разнообразие (как организмов, так и ситуаций) нельзя было игнорировать, а нужно было изучать.

Во-вторых, описания эти были продолжением очень прочной и давней, восходящей к XVI—XVIII вв., традиции естественной истории, суть которой французский философ Мишель Фуко замечательно охарактеризовал как «Nomination de visible»

(«Называние видимого»). Именно из естественной истории в конце XVIII в. выросла систематика, в XIX в. — биогеография, а в XX в. — экология.

Теория, сформулированная в экологии (а точнее сказать — заимствованная этой наукой из других дисциплин) в первой половине 20-го столетия, была жесткой, детерминистской по сути, тогда как эмпирический материал был очень мягким (если не сказать рыхлым) и разнообразным. И хотя вполне очевидное противоречие между теорией и практикой экологического исследования долгое время не подчеркивалось (теоретики существовали сами по себе, а практики сами по себе), рано или поздно оно не могло не потребовать разрешения. Накопившиеся противоречия должны были привести к изменению позиции как теоретиков, так и практиков, но это произошло уже в 70-х годах и составляет предмет отдельного рассказа, который читатель найдет в следующем номере журнала.

**Автор признателен Российскому гуманитарному научному фонду, поддержавшему данное исследование. Грант 96-03-04094а.**

## Nota bene

Сейсмология. Океанология

### Землетрясения охлаждают океан, кормят рыбу и рождают циклоны

Удивительные особенности некоторых землетрясений обнаружила недавно группа ученых Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, физфака МГУ и Математического института им. В. А. Стеклова РАН<sup>1</sup>. Рой землетрясений, происходивших в течение двух суток в районе Соломоновых о-вов, вызвал движение холодной придонной воды вверх (апвеллинг). В результате на теплой поверхности океана (+29°C!) сформировалась огромная (около 500 км в диаметре) низкотемпературная аномалия. Скачок температуры достиг минус 3°C, а само пятно с необычно низкой температурой просуществовало более двух суток.

Спутниковое изображение аномалии было обнаружено М. А. Носовым (физфак МГУ) благодаря тщательному анализу и сопоставлению материалов Сейсмологического бюллетеня и карты отклонений температуры поверхности океана (воистину Internet предоставляет больше возможности тому, кто знает, что искать и где!).

О возможности появления пятен охлажденной воды в районе подводного землетрясения, ранее уже сообщалось<sup>2</sup>. Первый случай натурной регистрации эффекта сейсмогенного охлаждения поверхности океана относится к серии землетрясений возле о. Бугенвиль (6° ю. ш., 155° в. д., 06.05.96), а второй — к землетрясению возле о. Самар (12° с. ш., 125° в. д., 13.06.96). В обоих случаях пятно охлажденной воды появилось над плейстосейстовой зоной землетрясения (районом наибольших сотрясений) примерно через сутки после сейсмического толчка. Глубина океана в этом месте превышает 4000 м. Скорость колебания дна в эпицентре при землетрясениях с магнитудой  $M > 7.1$  порядка 10 см/с.

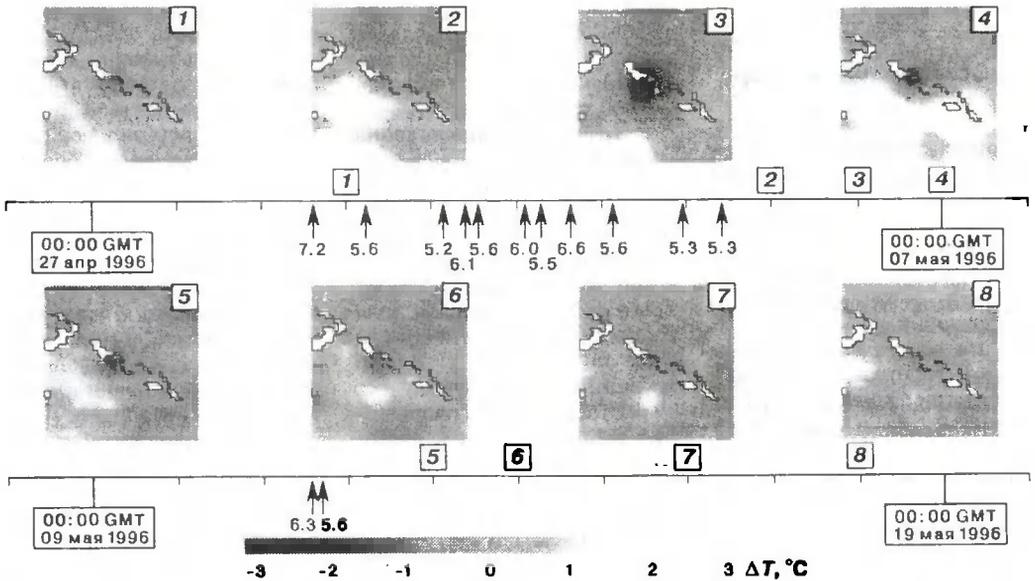
<sup>2</sup> Подробнее см.: Соловьев С. Л., Го Ч. Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М., 1974; Levin B. W. Nonlinear oscillating structures in the earthquake and seepage dynamics. *Chaos*, 1996. V. 6. № 3. P. 404—413; Levin B. W., Kaistrenko V. M., Kharlamov A. A., Cherepaveva M. A., Kryshny V. M. Physical processes in the ocean as indicators for direct tsunami registration from satellite. *Proc. IUGG/IOC Intern. Tsunami Symp., Wakayama, Japan*, 1993. P. 309—318; Левин Б. В. Цунами и моретрясение в океане // Природа. 1996. № 5. С. 48—61.

Полученная информация была сопоставлена с материалами недавней публикации А. Филонова (Университет Гвадалахара, Мексика)<sup>3</sup>, который зафиксировал изменения температуры и солености воды на записях заякоренных буев вблизи очага Мексиканского цунами 9 октября 1995 г. (18°54' с. ш., 104°08' з. д.). Здесь были обнаружены скачкообразное падение температуры воды на 6°C и повышение солености на 0.5‰ через 175 мин после сейсмического толчка. Буи располагались в шельфовой зоне на расстоянии 2240 м от берега (глубина около 200 м) и оказались в зоне действия подводного землетрясения.

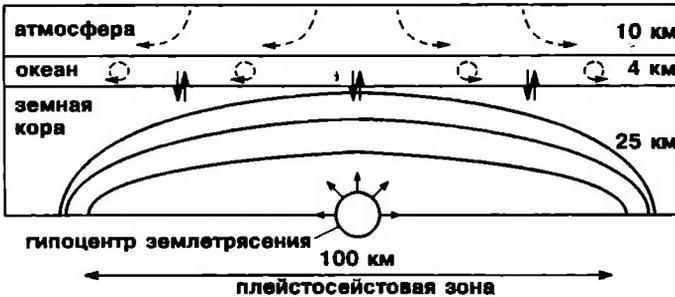
При анализе зафиксированных событий у Соломоновых о-вов и у побережья Мексики замечательным оказалось то, что в обоих случаях средняя скорость выноса холодных масс воды от дна к поверхности была одинаковой и составляла примерно 2 см/с. Океанологам известно, что области апвеллинга привлекают к себе рыб, кальмаров и других обитателей моря, поскольку сюда устремляется планктон и иная лаковая пища. Поэтому районы землетрясений иногда можно рассматривать и как «кормушку» для океанских рыб. Эта информация небезынтересна для капитанов промыслового флота.

<sup>1</sup> Левин Б. В., Носов М. А., Павлов В. П., Рыкунов Л. Н. Охлаждение поверхности океана, вызываемое подводным землетрясением // Докл. РАН. 1998. Т. 358. № 3. С. 1—4.

<sup>3</sup> Filonov A. E. Researchers study tsunami generated by Mexican Earthquake // EOS. 1997. V. 78. № 3. P. 21—25.



Спутниковые изображения поверхности океана вблизи Соломоновых о-вов в различные моменты времени (цифры 1—8 в квадратах на снимках и шкале времени), показывающие возникновение низкотемпературной аномалии после роя подводных землетрясений (числа на шкале — магнитуды).



Возникающая над очагом землетрясения область пониженной температуры на поверхности океана может, по мнению Г.С.Голицына (Институт физики атмосферы РАН), вызывать горизонтальные течения воздуха со скоростью до примерно 3 м/с. Охлаждение нижнего слоя атмосферы, прилегающего к аномальной области поверхности океана, ведет к осадению воздуха над ней и конвергенции его в более высоких слоях, что, возможно, способствует зарождению циклонов.

После доклада об от-

крытии сейсмогенного охлаждения поверхности океана, который автор этой публикации сделал на 29-й Генеральной ассамблее Международной ассоциации сейсмологов (Салоники, август 1997), болгарский сейсмолог Б.Рангелов сообщил, что вслед за одним из землетрясений, зафиксированных под дном Черного моря, в Болгарии значительно понизилась температура воздуха и даже выпал снег в необычное время.

Анализ возможных механизмов переноса глубокой холодной воды (в темпе-

Процессы, вызываемые в океане и в атмосфере сейсмическими движениями дна. Схема дает представление о соотношении масштабов вовлеченных в движение областей литосферы, гидросферы и атмосферы.

ратура ее придонного слоя в Тихом океане — около 3°C) требует привлечения сложных методов нелинейной акустики, теории конвекции, теории подобия Колмогорова—Обухова. Проведенные нами предварительные оценки дают надежду получить адекватное описание явления, для полного объяснения которого еще предстоит немало работы как геофизикам-океанологам, так и физикам-теоретикам.

© Б.В.Левин,  
доктор физико-математических наук  
Москва

## Астрофизика

**От Солнца «валит пар»**

Не так давно ученые впервые заподозрили наличие водяных паров в темных пятнах на Солнце. На это указывали результаты сопоставления спектров излучения, идущего от пятен и от водяного пара, нагретого в лаборатории.

Но до сих пор это была только гипотеза, требовавшая подтверждения. Недавно физикам из Лондонского университетского колледжа О.Полянскому и Дж.Теннисону (J.Tennison) с коллегами удалось подтвердить предположение о наличии в солнечных пятнах воды иным путем. Они построили математическую модель, в которую ввели данные не только о реальной температуре пятен, но и о других существующих там физических условиях, и задали ЭВМ вопрос: «Как в этом случае должен выглядеть инфракрасный спектр солнечного пятна, содержащего  $H_2O$  при температуре  $3000^\circ C$ ?»

Ответ компьютера почти полностью совпал с тем, что наблюдают астрофизики.

Теперь ясно, что солнечные пятна — это «мокрые места» на нашем огненном светиле.

Science. 1997. V.277. № 5324. P.346 (США).

## Астрономия

**Рекордная разрешающая способность**

Астрономы США, Австралии и Южно-Африканской Республики, работая по общей программе, наблюдали радиоизлучение пульсара

Вела — остатка сверхновой звезды, которая взорвалась около 10 тыс. лет назад. Расстояние до этого объекта — 1600 световых лет.

Точность в определении углового диаметра пульсара была столь высока, что астрономам удалось измерить поперечник его радиоизлучающей области. Угол, в который вписывается Вела, всего одна триллионная доля градуса. Под таким углом был бы виден с Земли крупный вирус на Луне.

Столь высокое разрешение достигалось бы в системе радиотелескопов, разнесенных на расстояния, превышающие диаметр Земли. Но в данном случае ученым помогло то, что оболочка сверхновой быстро расширилась, и на ней, как на киноэкране, появилось увеличенное изображение, что повысило точность наблюдений на несколько порядков. В результате было установлено, что зона, откуда исходит радиоизлучение пульсара, составляет в поперечнике всего около 500 км. Внутри этой зоны находится нейтронная звезда диаметром около 10 км, снабжающая пульсар энергией.

New Scientist. 1997. V.154. № 2081. P.16 (Великобритания).

## Астрономия

**Еще одна планета?**

Работая на одном из телескопов обсерватории в Тусоне (штат Аризона), сотрудники Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра, руководимые Р.Нойесом (R.Noyes; Кембридж, штат Массачусетс, США), получили спектр излучения звезды  $\rho$  в созвездии Северная Корона. Проанали-

зировав его, они обнаружили, что частоты спектральных линий испытывают колебания, то возрастают, то убывают. Наиболее вероятное объяснение характера периодического изменения спектра — наличие планеты, обращающейся вокруг  $\rho$  Северной Coronы.

Расчеты показывают, что такая планета должна быть несколько более массивной, чем Юпитер, а ее удаленность от звезды — меньше расстояния между Меркурием и Солнцем.

Ныне число открытых вне Солнечной системы небесных тел, которых считают планетами, уже превысило десяток. Надо полагать, что в действительности их намного больше.

Astrophysical Journal Letters. 1997. V.483. P.111 (США); New Scientist. 1997. V.155. № 2089. P.23 (Великобритания).

## Астрономия

**Гигант среди «кентавров»**

Между орбитами Сатурна и Урана расположена группа малых планет, именуемых «кентаврами», поскольку первая из таких найденных планет получила имя кентавра Хирона. Пока не ясно, родственны ли они астероидам или ядрам комет.

В феврале 1997 г., наблюдая эту область Солнечной системы, астроном Дж.Скотти (J.Scotti; Университет штата Аризона, Тусон, США) обнаружил еще один объект, относящийся к данной группе.

Видный специалист по малым телам Солнечной системы Б.Марсден (B.Marsden; Гарвардско-Смитсоновский астрофизический центр, Кембридж, штат Массачу-

сетс) вычислил его орбиту и установил, что она имеет сходство с орбитами шести других тел, существование которых было известно и ранее. По-видимому, все семь «кентавров» обладают одинаковой способностью отражать солнечный свет. В таком случае новый ярко светящийся объект окажется крупнее 200-километрового в диаметре Хирона, который с момента своего открытия в 1977 г. считался наибольшим из «кентавров».

New Scientist. 1997. V.154. № 2079. P.13 (Великобритания).

#### Химия атмосферы

### Метилбромид не так уж вреден

Утверждение, что разрушительное влияние на озоновый слой стратосферы метилбромида ( $\text{CH}_3\text{Br}$ , выделяющегося в атмосферу наряду с другими хладоагентами — хлорфторуглеводородами) в 50 раз сильнее по сравнению с хлорсодержащими низшими углеводородами, основано на установленном химиками факте: атом брома разрушает в 50 раз больше молекул озона, чем атом хлора. Однако исследования последних лет указывают, что с деятельностью человека связано только 35% всего атмосферного метилбромида; неидентифицированные его источники могут иметь и природное происхождение. К тому же удаление его из атмосферы происходит со значительно большими скоростями, чем предполагалось, и только 4% всего атмосферного метилбромида попадает в стратосферу.

Деструктивное влияние

антропогенного метилбромида, таким образом, сильно преувеличено.

Nature. 30 October 1997. V.389. P.904 (Великобритания).

#### Физика. Техника

### Магнит-гигант

В мае 1997 г. в Лоуренсовской национальной лаборатории США (Беркли, штат Калифорния) вступил в строй магнит, который представляет собой сверхпроводящую петлю из сплава ниобия с оловом ( $\text{Nb}_3\text{Sn}$ ). Индукция создаваемого им магнитного поля достигает 13.5 Тл, что в 250 тыс. раз превышает магнитное поле Земли и на 22% превосходит силу прежнего «рекордсмена» среди магнитов, который был построен в Нидерландах в 1995 г.

Магниты с такими рекордными полями будут применяться физиками в более совершенных ускорителях частиц и установках управляемого термоядерного синтеза. Тем самым открываются новые широкие возможности для развития физики высоких энергий.

Хотя сплав  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  имеет одно из наивысших значений критического тока, конструкторы сверхпроводящих магнитов избегали им пользоваться из-за его хрупкости, затрудняющей изготовление петли требуемой формы.

Теперь эту проблему удалось обойти путем раздельного формирования элементов токопровода из пластичных материалов Nb и Sn с последующим их сплавлением при 680°C в желаемую конфигурацию.

New Scientist. 1997. V.154. № 2081. P.16 (Великобритания).

#### Химия. Медицина

### Разделение оптических изомеров

Как известно, многие органические соединения — и природные, и синтетические — существуют в виде двух оптических изомеров — L- и D-форм. В настоящее время продажа фармацевтических препаратов, имеющих оптические L- и D-изомеры, разрешена лишь при условии полной характеристики их свойств. Однако для этого необходимо иметь чистые вещества, а в процессах производства образуются смеси изомеров. Поскольку почти все свойства оптических изомеров одинаковы, их разделение — трудная и весьма дорогостоящая задача.

Эффективный и относительно недорогой способ — мембранное разделение, но для каждого лекарства приходится подбирать свои высокоселективные мембраны.

Живые организмы легко решают эту проблему с помощью ферментов, способных различать оптические изомеры. Казалось бы, ключ к проблеме найден: необходимо просто иммобилизовать ферменты на мембране, что и позволит повысить ее селективность. Однако те же самые ферменты, как правило, катализируют превращения веществ, изменяя их химическую природу.

Б.Лакшми и Ч.Мартин (B.Lakshmi, Ch.Martin; химический факультет Университета штата Колорадо, Форт-Коллинс, США) предложили новую конструкцию мембраны, которая напоминает сэндвич (см. рис.). Она состоит из фильтра, имеющего цилиндрические поры диаметром от 30 до 400 нм, и двух полипиррольных пленок. Проводя вакуумное

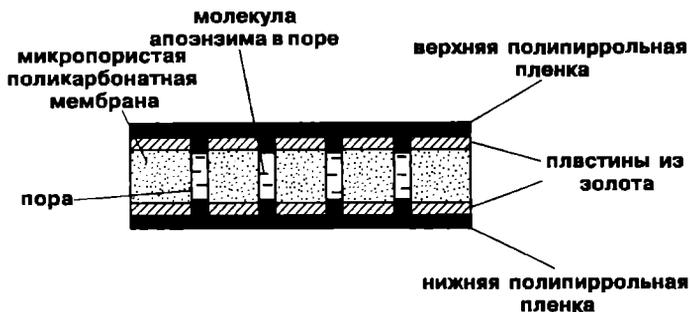
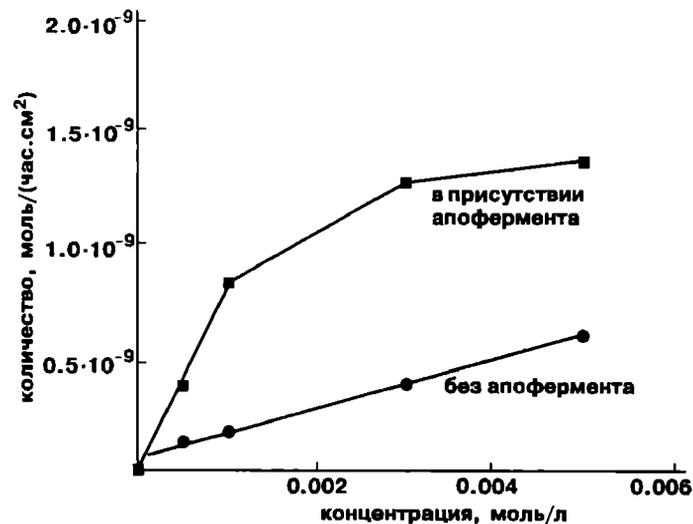


Схема поперечного сечения селективной мембраны.

фильтование, поры наполняют апоферментами (белковым компонентом сложных ферментов, ответственным за селективность). Пленку пришивают к поликарбонатной мембране электрополимеризацией, помещая между ними золотую пластинку. В результате электрополимеризации апофермент оказывается запёртым в порах мембраны.

Для доказательства эффективности мембраны Лакшми и Мартин экспериментировали с двумя разными апоферментами — апоал-

*Зависимость количества прошедшего через мембрану ванилина от его концентрации.*



когальдегидрогеназой и апоальдегиддегидрогеназой, регулирующими прохождение через мембрану соответственно спиртов и альдегидов. Опыты показали, что в отсутствие апофермента количество прошедшего через мембрану вещества пропорционально его концентрации: в противоположном случае оно возрастает до некоторого предела. Представленный график такой зависимости для ванилина отражает хорошо известное свойство «утомляемости» фермента и доказывает, что апоферменты активно участвовали в работе мембраны.

Наиболее интересны результаты, полученные при разделении L- и D-изомеров фенилаланина: коэффициент селективности в этом случае равен 4,9. Это наибольшее

значение из известных ныне.

Таким образом, проблему разделения оптических изомеров, по-видимому, удастся решить с помощью апоферментов.

Nature. 21 August 1997. V.388. P.758—760 (Великобритания).

Химия. Техника

## Трубопроводы получают дешевый метанол

Значительная часть мировых (и российских) запасов природного газа находится в северных районах с суровым климатом. При низких температурах окружающей среды и высоких давлениях в магистральных трубопроводах метан и вода образуют в них твердые газогидраты. Устраняют пробки закачиванием метанола, препятствующего образованию газогидратов. Хотя метанол дешев, его транспортировка на большие расстояния невыгодна.

Недавно в ходе многолетнего чисто академического исследования, которое проводилось коллективом сотрудников Института нефтехимического синтеза и Института высоких температур РАН во главе с Ю.А.Колбановским, удалось решить важнейшую технологическую проблему получения метанола в местах добычи природного газа.

В основе разработанного метода лежит использование импульсного сжатия газовой смеси.

Группой Колбановского, в которую входили высококвалифицированные конструкторы, в свое время работавшие в знаменитых КБ Королева и Грабина, были созданы как миниатюрные лабораторные, так и крупные химические реакторы оригиналь-

ных конструкций, получившие название «химический реактор сжатия». Учет условий возгорания метан-воздушных смесей позволил исследователям, не опасаясь взрывов, нагревать смесь, которая затем воспламенялась только при сжатии в реакторе. Однородность состава (предварительное тщательное перемешивание в объеме, где протекает химический процесс) способствовала парциальному окислению метана с высоким выходом и большой селективностью. Образующийся в таком процессе синтез-газ позволяет получать метанол непосредственно из природного источника.

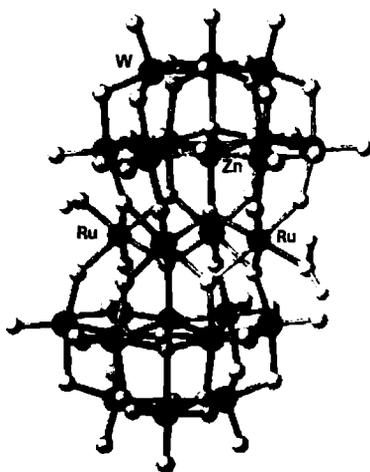
Необходимые для этого химические реакторы представляют собой модификации обычных серийных дизельных двигателей и уже демонстрируются в Институте высоких температур РАН.

© Ж.Г.Василенко,  
кандидат химических наук  
Москва

Химия

### Неорганический катализатор в роли биологического фермента

Хотя активность кислорода — факт тривиальный, непосредственное окисление веществ молекулярным кислородом протекает очень медленно. Но если необходимо ускорить процесс окисления, молекулу кислорода возбуждают, и тогда при ее распаде образуется два активных атома. Это инициирует радикальный механизм реакции, однако он не обеспечивает избирательности процесса, который к тому же часто приобретает цепной характер.



*Катализатор селективного окисления алкенов. Рутений расположен между защищающими его лигандами  $ZnW_9O_{34}^{11-}$ .*

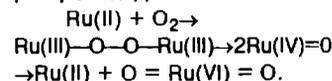
В клетках живых организмов селективное окисление молекул осуществляется ферментами, которые активируют кислород до перекисных соединений (цепочка —O—O—). Существенно, что один из образующихся атомов кислорода блокируется тем же ферментом, который возбуждает молекулу кислорода. Так, в частности, протекает общее для всего живого окислительное фосфорилирование.

В промышленности в реакциях окисления кислородом применяют катализаторы, которые, подобно ферментам должны и активировать кислород, и блокировать один из его атомов, предотвращая развитие процесса с участием радикалов. Непременное требование к таким катализаторам — устойчивость к действию самого кислорода.

Для быстрого избирательного окисления алкенов (одна из стадий органических синтезов) недавно был применен рутений-порфири-

новый катализатор<sup>1</sup>. В этом случае в качестве промежуточных продуктов образуются производные рутения (VI), которые и обеспечивают высокую селективность окисления. Однако они и сами могут окисляться.

К.Ньюмен и М.Дахан (K. Neuman, M. Dahan; Институт прикладной химии Хевронского университета, Иерусалим, Израиль) предложили использовать другой катализатор — рутений-содержащий полиоксометаллат, который не образует легко окисляемых производных металл-кислород-металл. Предполагается, что активация молекул  $O_2$  с участием такого катализатора происходит по схеме:



Как и в рутений-порфириновом катализаторе, окисляющим агентом здесь служат производные Ru(VI), но оба атома рутения — Ru(II) и Ru(VI) — располагаются, как начинка в сэндвиче, между объемными и пространственно защищающими их анионами  $ZnW_9O_{34}^{11-}$ . Кислород внедряется прямо в окисляемую молекулу без выделения радикалов. Например, селективность окисления таких алкенов, как циклооктен, норборнен, 2,3-диметил-2-бутен, 1-октен и пропен, в опытах авторов достигала 99%, а выход необходимых продуктов колебался от 17.2% для 1-октена до 82.1% для норборнена.

Таким образом, можно считать, что найден неорганический катализатор, способный моделировать фермент живых организмов.

Nature. 24 July 1997. V.388. P.332—333, 353—356 (Великобритания).

<sup>1</sup> Groves J.T., Quinn R. // J. Amer. Chem. Soc. 1985. V.107. P.5790—5792.

## Биология

**Пауки сеотиры ищут не выгоды, а покоя?**

Во многих современных работах по экологии животных исследователи исходят из предпосылки, что животное ищет для себя оптимальные условия — касаются ли они пищи, места, защиты от врага и т.д. Действительно, активный выбор биотопа характерен для многих животных. Именно из этих предположений исходит, например, модная теория оптимальной фуражировки. Ряд исследований проведен и на пауках. Но совсем недавно выяснилось, что пауки вовсе не стремятся лишь к голой «выгоде».

Дж.Хеншель из Исследовательского центра по изучению пустынь Намибии и Дж.Любин из Университета Бен Гуриона в Израиле изучали экологию паука *Seothyra henscheli* в пустыне Намиб<sup>1</sup>.

Сеотира — хищник-засадчик. Он роет норки в барханах и строит около них небольшие сети. Из-за постоянных движений песка их часто приходится перестраивать, иногда по нескольку раз в сутки. Изучая свойства биотопов, которые должны влиять на удобство фуражировки, уровень роста и выживаемость пауков, исследователи с удивлением обнаружили, что параметры сетей не зависят от доступности пищи в биотопе. Более того, пауки не способны к активному выбору мест для постройки сетей и вообще не хотят далеко передвигаться от места, где родились.

Для объяснения «выгоды» такого образа жизни,

ученые выдвинули две гипотезы: дифференциальный рост зависит от местообитания; филопатрия, т.е. стремление потомства не удаляться от материнского местообитания (раз уж пауки-родители выбрали это место, значит, оно надежно). Тем не менее, случайно оказавшись в хорошем, обильном пищею месте, сеотиры начинают размножаться очень быстро. Репродуктивный потенциал вида велик. Так, может, не только к примитивной выгоде стремятся пауки? Похоже, суровый естественный отбор в условиях пустыни показал, что выживает тот, кто меньше «суетится», не бегаёт с места на место по жаре, рискуя быть съеденным и растрачивая последнюю энергию на рытье нор и постройку новых сетей. Тогда выходит, что пауки ищут не выгоды, а покоя! И такая стратегия иногда оптимальна, особенно в экстремальных условиях.

© К.Г.Михайлов,  
кандидат биологических наук  
Москва

## Микробиология

**Глубинная биосфера**

В начале 90-х годов появилось сообщение о том, что в гранитных породах у Балтийского побережья Швеции, на глубине почти 200 м, обнаружены следы микроорганизмов, живших на Земле около 1.8 млрд лет назад: бурильное долото прошло сквозь трещину в граните, и поднятые наверх образцы воды содержали большое количество бактерий. Однако тогда возобладало мнение скептиков, считавших, что эти организмы занесены с

поверхности при бурении и доказательством существования жизни в недрах служить не могут.

Новые подтверждения гипотезы глубинной биосферы обнаружили геологи, возглавляемые К.Педерсенем (K.Pedersen; Гётеборгский университет, Швеция). Эта группа изучила строение и содержание грунтовой колонки, поднятой в том же районе с глубины несколько более 200 м. На образцах, взятых из трещины, где присутствовала вода, был обнаружен тонкий слой глины, покрытой кальцитом.

Под электронным микроскопом удалось увидеть, что слой кальцита содержит многочисленные отпечатки микроскопических ископаемых организмов, сходных с бактериями. Идентифицировать найденных представителей жизни по одной их форме не представляется возможным.

Некоторые из образцов кальцита отличаются аномально низким содержанием изотопа углерода-13. Обычно это считают признаком присутствия живых клеток<sup>1</sup>. Установленные вариации содержания изотопа кислорода-18 говорят, что эти кальциты формировались в разное время. Один из образцов содержит <sup>18</sup>O в таком количестве, которое встречается лишь в океанических водах и не наблюдается в породах, сложившихся за последние 115 тыс. лет.

Работы группы Педерсена субсидировала шведская компания по захоронению отходов атомной промышленности: специалисты и общественность не раз высказывали опасения, что

<sup>1</sup> Henschel J.R., Lubin Y.D. // J. of Animal Ecology. 1997. V.66. № 3. P.401—413.

<sup>1</sup> См.: Жизнь на Земле на 350 миллионов лет старше? // Природа. 1997. № 2. С.124.

микроорганизмы, живущие на глубине, в том числе в подпочвенных водах, могут разносить радиоактивность из подземных хранилищ.

Эти исследования привлекли внимание планетологов: если микроорганизмы могут существовать в земных недрах, не исключено, что они будут обнаружены на Марсе — как в его поверхностном слое, так и на более или менее значительной глубине.

Geology. 1997. V.25. № 9. P.427 (США); New Scientist. 1997. V.155. № 2100. P.6 (Великобритания).

#### Медицина

### Обеззараживание продуктов облучением

Радиационное облучение как метод обеззараживания применяется в 30 странах мира. Хотя рекомендуемая ВОЗ норма облучения составляет 10 кГр, используемые в разных странах дозы существенно различаются и превышают эту величину. Например, во Франции для сухих специй доза равна 11 кГр, в Аргентине и США она доходит до 30 кГр; средняя величина облучения мясопродуктов в Южно-Африканской Республике — 45 кГр. В Нидерландах для питания больных со сниженным иммунитетом допускается облучение продуктов дозой в 75, а в отдельных случаях — 100 кГр.

Подготовленная ВОЗ, ФАО и МАГАТЭ Конференция по высоким дозам облучения (15—20 сентября 1997 г., Женева), рекомендовала повысить допустимые нормы. Директор Программы ВОЗ по продовольственной безопасности и продовольствен-

венной помощи Ф.Каферштейн (F.Kaferstein) отметил: данные 50-летних исследований тех процессов, которые происходят в облученных продуктах (данные радиационной химии и физики, токсикологические и микробиологические исследования), показывают, что уровень облучения может быть поднят до 75 кГр, как это и делается во многих странах, — пища при этом остается безопасной и не теряет биологической ценности (определялась питательная ценность продуктов, получивших дозу 10—100 кГр).

Высокая степень зараженности продуктов кишечными микроорганизмами (*Salmonella*, *E.coli* 0157-H7, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*) требует ужесточения санитарного контроля продуктов, а значит, необходим надежный способ их стерилизации. Радиационное обеззараживание в этом смысле более эффективно, чем известное всем термическое: радиационная обработка равномерна по всему объему, идет без потерь продукта, пища меньше подвергается химическим превращениям. Известно, что астронавты США и космонавты СССР в течение 20 лет употребляли пищу, стерилизованную только облучением.

Press Release WHO/68. 19 September 1997 (Швейцария).

#### Медицина. Демография

### Долгожительство женщин — поведение или физиология?

Всюду в мире продолжительность жизни женщин больше, чем мужчин. В 1995 г. среди людей, до-

стигших 60-летнего возраста, насчитывалось 302 млн женщин и только 247 млн мужчин. В странах Африки, расположенных вблизи Сахары, где продолжительность жизни наиболее низкая, женщины доживают до 52 лет, мужчины — до 49. Этот разрыв увеличивается в странах с высокой продолжительностью жизни: в Японии, например, мужчины и женщины живут соответственно 77 и 83 года.

Мужчины в любом возрасте умирают чаще, чем женщины. Исключение составляет смертность женщин слаборазвитых стран в возрасте, связанном с их воспроизводящей функцией, причем главные причины смерти в этих случаях — болезненное течение беременности, осложненные роды, аборт и особенности социального статуса, снижающие как доступность медицинских услуг, так и общее качество их жизни.

По данным ВОЗ, женщины болеют не меньше мужчин, но чаще выздоравливают. Более высокая смертность среди мужского населения во многом объясняется мужским стилем поведения и их общественным положением. На продолжительности жизни мужчин отражаются дорожно-транспортные происшествия, самоубийства, курение и злоупотребление алкоголем.

Перед обществом XXI в. стоят новые проблемы, связанные с его феминизацией, особенно пожилой части населения. ВОЗ отмечает две стороны этой тенденции. В развитых странах, несмотря на сглаживание социальных ролей мужчин и женщин, разница в продолжительности их жизни продолжает увеличиваться. Объяснение этому, видимо, кроется как в физиологических различиях полов, так и в более сильно

выраженном у людей преклонного возраста различии стиля жизни. В странах с малоразвитой экономикой женщины выходят замуж между 15—19 годами, и вся их последующая жизнь связана в основном с семейными обязанностями. В случае вдовства отсутствие минимальных социальных гарантий означает прозябание женщин преклонного возраста; саму возможность их выживания зачастую определяют дети и внуки.

Нарастание разницы в численности пожилого мужского и женского населения превращается в серьезную социальную проблему. ВОЗ подчеркивает: для гармонизации соотношения полов в мире, а также их взаимопомощи необходимо использовать преимущества особенностей каждого пола.

World Health. July—August 1997. № 4. P.8—9 (Швейцария).

#### Экология

### Хлорорганика в сибирских реках

В июне 1997 г. в Тромсё (Норвегия) состоялся международный семинар «Состояние природной среды в Арктике», в котором приняли участие экологи восьми стран, имеющих выход к Северному Ледовитому океану. В докладе, представленном международной группой специалистов, возглавляемой канадским ученым Д.Стоуном (D.Stone), отмечается, что сибирские реки несут в океан большее количество токсичных веществ, чем все реки Северной Америки и Скандинавии, вместе взятые. Например, количество

полихлорбифенилов и пестицидов типа ДДТ превышает поступления от всех остальных их источников в сотни раз. По данным Д.Мюра (D.Muir; Институт по изучению пресных вод, Виннипег, Канада), содержание хлорорганических веществ в Оби, Енисее и Печоре выше, чем в реках индустриальных районов Западной Европы и Северной Америки. Высока загрязненность сибирских рек и полихлорциклогексанами (в основном пестицидом линданом).

Хотя производство ДДТ было прекращено в Советском Союзе, старые его запасы все еще используются в Сибири для борьбы с кровососущими насекомыми, о чем сообщил С.Беликов (Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы и заповедного дела, Москва). Л.Алексеева (Росгидромет, Обнинск) оценивает количество ДДТ, ежегодно поступающее в океан с водами Оби и Енисея, примерно в 50 т.

В Енисейском заливе, Карском и Баренцевом морях содержание ДДТ и полихлорбифенилов приблизительно в 10 раз выше, чем в водах, омывающих север Канады (по данным канадских специалистов, концентрация полихлорбифенилов у берегов Сибири достигает 15 нг на 1 л). Эти вещества, вероятно, попадают в воду с сухопутных объектов или с борта судов, где они входят в состав электроизоляционного оборудования.

Из доклада С. де Вит (S. de Vit; Институт прикладных исследований природной среды, Стокгольм, Швеция), посвященного результатам измерения концентрации токсичных веществ в теле полярных морских тюленей, дельфинов, китов, чаек, пещцов и белых медведей, следует, например, что в

ворвани нерп, населяющих Карское море, содержание полихлорбифенилов достигает 3400 нг на грамм тканей. По всей видимости, наличие этих же веществ в молоке медведиц вызывает высокую смертность медвежат на островах архипелага Шпицберген.

New Scientist. 1997. V.154. № 2085. P.4 (Великобритания).

#### Охрана окружающей среды

### Утечка трития из лабораторного хранилища

В декабре 1996 г. на очередной плановый осмотр и ремонт был остановлен реактор Национальной Брукхейвенской лаборатории — головного учреждения США, проводящего многоплановые исследования с использованием нейтронов. Перед его пуском в 1997 г. обнаружилось, что из хранилища слаборadioактивных веществ происходит утечка в почву трития, продолжающаяся уже около 10 лет. Хотя загрязнение ограничивалось территорией самой лаборатории, население близлежащего г.Аптон и всего о.Лонг-Айленд (штат Нью-Йорк) потребовало принятия немедленных мер.

Министр энергетики США Ф.Пенья (F.Pena), которому подчинено это учреждение, объявил о закрытии Брукхейвенской лаборатории до завершения полной ее очистки и проверки безопасности входящих в ее структуру подразделений. Приостановлены все работы Ассоциации 26 американских университетов, проводившиеся

в этой лаборатории с 1947 г., и около 250 специалистов остаются временно незанятыми.

«Чистка» лаборатории и ее территории от радиоактивного трития займет около двух лет и обойдется примерно в 25 млн долл. К этой сумме, вероятно, прибавятся расходы по обшивке хранилища ядерного топлива нержавеющей сталью, на что потребуются еще около 10 млн долл. Дополнительные средств на это Министерство энергетики выделить не обещает, их придется изыскивать из бюджета лаборатории (400 млн долл. в год), что приведет к остановке ряда важных экспериментов.

Science News. 1997. V.151. № 19. P.284 (США).

#### Геология

### Суперразлом, где плавятся недра

До сих пор было известно, что во время мощных землетрясений трение участков земной коры друг о друга может вызвать расплавление слоя породы толщиной в 1—2 см и образование узких полосок или линз тонкозернистого стекловатого вещества — псевдотрахилитов<sup>1</sup>. Однако, изучая геологическое строение ударного кратера Садбери в провинции Онтарио (Канада), который возник при столкновении астероида с Землей примерно 1.8 млрд лет назад, Дж.Спрей (J.Spray; Университет провинции Нью-Брансуик, Канада) обнаружил новый интересный факт.

Породы, лежащие под кратером, частично обнажи-

лись, открыв жилу характерного псевдотрахилита, хорошо знакомого Спрею по его работам в районах, где происходили сильные землетрясения. Но в Садбери мощность этого слоя составляет не сантиметры, а почти 1 км, причем его ширина достигает 45 км, чего нигде еще не наблюдалось.

Стекловатое тело в Садбери лежит на суперразломе земной коры, образовавшемся, когда ее большой краевой участок накренился на сотни метров под ударом небесного тела. При обычных размерах смещение ограничивается несколькими метрами, и сопровождающее такую подвижку трение приводит к плавлению сравнительно тонкого слоя породы. В данном же случае, по расчетам Спрея, скольжение пласта коры на сотни метров по суперразлому оказалось способным расплавить километровую толщу пород всего за 1—2 мин.

Вероятно, после удара астероида о земную поверхность в ней возникло углубление с крутыми нестабильными стенками, которые вскоре обрушились под собственной тяжестью. Не исключено, что аналогичные суперразломы могут появляться и при разрушении стенок кратеров вулканического происхождения.

Geology. 1997. V.25. № 7. P.579 (США).

#### Геотектоника

### Аляска — «родственница» Урала?

Еще в начале 80-х годов американские геологи отметили, что значительный участок суши, протянувшийся вдоль Тихоокеанского побережья юго-юго-восточной

части штата Аляска (включая, в частности, архипелаг Александра), имеет совершенно иное строение, чем основная часть континента. Эта геологическая область площадью 100 тыс. км<sup>2</sup>, получившая название террейн Александра, по всей видимости, сформировалась в совсем ином регионе, а затем в результате дрейфа континентов оказалась на новом месте.

Некоторые геофизики и геотектонисты полагали, что террейн Александра первоначально находился вблизи Австралии. Изотопные исследования его пород показали, что это могла быть цепь прибрежных островов вулканического происхождения. Изучение направленности «вмороженных» магнитных полей в эти затвердевшие породы позволило сузить место происхождения террейна до района тропиков. Среди известных тропических регионов соответствующего времени были Австралия и Скандинавия; возраст циркониевых включений в этих породах наилучшим образом совпадал с возрастом аналогичных пород террейна Александра.

Все эти утверждения, однако, оставались предметом споров среди специалистов. Так, палеонтолог К.Соя (C.Soja; Колгейтский университет, Гамильтон, штат Нью-Йорк) указывал: в случае, если бы это была островная дуга, расположенная где-то вблизи Австралии, в породах террейна Александра должен был присутствовать определенный процент ископаемых организмов, общих для обоих регионов, но в пределах террейна они исключительно редки. Зато там найдены совершенно необычные для данного региона ископаемые рифы, имеющие возраст около 420 млн лет. Эти рифовые по-

<sup>1</sup> Трахилит — то же, что базальтовое стекло.

стройки оставлены главным образом бактериальными организмами и микроскопическими водорослями, но около 10% из них были образованы мельчайшими, размером в несколько сантиметров, редко встречающимися губками. Это указывает, что террейн Александра мог возникнуть где-то между северо-востоком России и Северной Америкой.

Российский геолог А. Антошкина (Коми-филиал РАН, Сыктывкар), изучавшая весьма похожее скопление ископаемых организмов того же возраста на Северном Урале, считает, что сходство пород не могло быть случайностью. Теперь в своей совместной работе Соля и Антошкина утверждают, что Северный Урал и террейн Александра сформировались вдоль так называемого Уральского пролива — морского прохода, соединявшего примерно 420 млн лет назад нынешнюю Северную Америку со Скандинавией. По их мнению, древние организмы мигрировали по этому проливу от неких островов вулканического происхождения, лежавших вблизи Северной Америки и Урала. Затем, когда менее 100 млн лет назад этот континент и уральский массив суши отдрейфовали к своему нынешнему местоположению, острова столкнулись с Северной Америкой, породив террейн Александра.

Эту гипотезу считает вполне правдоподобной К. Стивенс (C. Stevens; Университет штата Калифорния, Сан-Хосе), так как аргументы в пользу такой связи запада Северной Америки с арктической частью Уральских гор весьма убедительны.

Geology. 1997. V.25. № 6. P.539 (США).

## Океанология

### Кристаллогидраты метана в донных осадках Атлантики

Органические остатки донных отложений, разлагаясь, образуют газообразные углеводороды, в основном метан, который скапливается в больших количествах в расщелинах дна. При низких температурах и высоком давлении, что соответствует условиям больших морских глубин, газообразные углеводороды могут образовывать с водой твердые стабильные гидраты. Таким образом, в Атлантике метан может находиться как в свободном виде, так и в виде газогидратов.

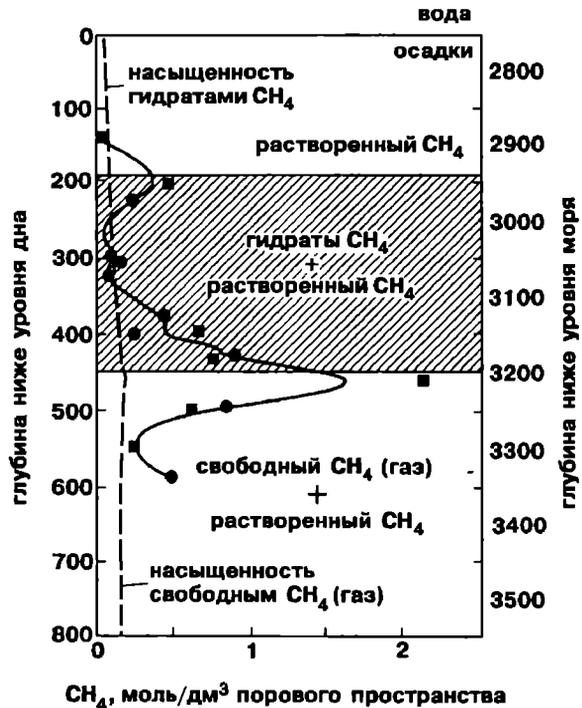
Масса скопившихся в осадках газогидратов оценивается в десятки гига-тонн. Точное знание этой величины важно не только потому, что метан используется как энергоноситель, но

и для оценки возможного изменения климата в случае разрушения газогидратов и выхода метана в атмосферу.

Одной из задач 164-го рейса бурового судна «ДЖОЙДЕС Резолюшн» была оценка состояния углеводородов *in situ* и общего количества газа в осадочном чехле в районе хребта Блэйк<sup>1</sup>. Для этого использовалась специальная система отбора проб: с помощью особого приспособления образец объемом 1320 см<sup>3</sup> поднимали на поверхность, сохранив его фазовое и агрегатное состояние. Химическим анализом определяли состав газа (98.5% — метан, 1.5% — в основном CO<sub>2</sub>), а по выделенному объему газа рассчитывали концентрацию

<sup>1</sup> Подробнее см.: 164-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» // Природа. 1997. № 5. С.111.

*Концентрация метана и его состояние на разных глубинах.*



в пробах (малые количества газа, остающиеся в образце, при расчетах не учитывали). Найденные концентрации сравнивали с хорошо известными величинами для насыщенных растворов метана и его газогидратов в условиях (соленость, температура, давление), соответствующих условиям пробуренных скважин.

В итоге получена картина распределения метана ниже уровня дна: в виде гидратов он находится на глубинах от 190 до 450 м, тогда как свободный газообразный метан в виде пузырьков — на глубине свыше 450 м. Общее его количество (в виде газогидратов и в свободном виде — растворенный метан и пузырьки газа) оценено с учетом того, что протяженность газосодержащей зоны в районе хребта Блэйк составляет, по сейсмическим измерениям, 26 тыс. км<sup>2</sup>. В пересчете на углерод общие запасы метана в этом районе оценены в 35 Гт. Это приблизительно 7% всего углерода, содержащегося в биоте Земли. Полученные ранее сейсмические данные показывают величину 40 Гт для площади 100 тыс. км<sup>2</sup>, т.е. в три раза меньшую, что, по-видимому, связано с недоучетом метана в газогидратах.

Nature. 30 January 1997. V.385. P.426—428 (Великобритания).

Сейсмология

**В Лесото ждут «искусственного» землетрясения**

На территории королевства Лесото (Южная Африка) находятся истоки крупнейшей в этом регионе реки —

Оранжевой, впадающей в Атлантический океан. В целях снабжения ЮАР водой здесь создается самая крупная на континенте система из четырех водохранилищ, строительство которых обойдется в 8 млрд долл.

Первое из них — водохранилище Каце — уже заполняется водами р.Оранжевой. Оно предназначено для нужд промышленных центров — Претории и Йоганнесбурга. Проектная глубина водохранилища у плотины достигнет 185 м.

Уже через несколько недель после начала заполнения, в октябре 1995 г., в районе водохранилища начались подземные толчки — признаки наведенного землетрясения. Наблюдения под руководством Г.Гибсона (G.Gibson; директор Центра сейсмологических исследований при Мельбурнском Королевском технологическом институте, Австралия) подтвердили причинно-следственную связь между образованием водохранилища и землетрясениями. Причем после каждого значительного дождя подземные толчки учащаются.

В феврале 1997 г. население соседней с водохранилищем деревни Мапенг бежало, когда на ее территории внезапно образовался разлом протяженностью 1.5 км и шириной до 7 см. Обследования, выполненные сейсмологом К.Хартнади (С.Hartnady; геологический факультет Кейптаунского университета, ЮАР), показали, что последствия тех изменений, которые происходят в нагрузке земной коры, могут быть еще более значительными. Его коллега по университету геодезист Ч.Мерри (С.Merry) рассчитал, что 2 млрд т. воды, которым предстоит здесь скопиться, продавят ложе водохранилища на 10 см, что чревато

новыми, более сильными землетрясениями.

Такого рода наведенная сейсмичность известна специалистам уже несколько десятилетий. Наиболее очевидный тому пример — разразившееся в 1967 г. землетрясение с магнитудой 6.5 по шкале Рихтера в районе Бомбея (Индия), не считавшегося сейсмоактивной зоной. Оно было вызвано заполнением только что построенного водохранилища Койна. В результате плотина обрушилась и вал воды привел к гибели 177 человек.

В Лесото в 1988 г. была выполнена предварительная сейсмическая съемка и по ее результатам сделано заключение: «Серьезных толчков строительство вызвать не сможет». По мнению Хартнади, в Лесото ныне не исключено землетрясение магнитудой более 7, что стало бы катастрофой.

New Scientist. 1997. V.153. № 2071. P.8 (Великобритания).

Геофизика

**Торнадо не явится неожиданно**

В 1989 г. торнадо обрушилось на городок Хантсвилл в штате Алабама (юго-восток США). Пережившие эту катастрофу люди рассказали главе местной инженерной компании Ф.Тейтону (F.Tatom), что при подходе смерча они почувствовали колебания земли. Инженер подсчитал, что мощный воронкообразный вихрь может ежесекундно передавать на поверхность

земли значительную энергию — до полутонны в тротиловом эквиваленте. В сотрудничестве с геофизиком С.Виттоном (S.Vitton; Мичиганский технологический университет, Хафтон, США) Тейтом разработал широкополосный детектор, способный, по их оценкам, регистрировать такие колебания.

Оказалось, что издаваемый торнадо сигнал<sup>1</sup> имеет в своем спектре более высокие частоты по сравнению со спектром, на который запрограммированы сейсмометры принятых ныне типов. Помехи — сигналы, вызванные толчками землетрясений, — задерживались фильтром верхних частот.

Совместно с Дж.Дорманом (J.Dorman; Мемфисский университет, штат Теннесси) исследователи установили, что торнадо вызывает еще и наклоны участков земной поверхности в тех пунктах, где ее касается «хобот» вихря. Такое воздействие подобно то поднимающимся, то опускающимся рычагам насоса, что и приводит к деформациям поверхности земли.

Первоначально компания Тейтома изготовила шесть приборов, которые могут регистрировать сигналы как сейсмических волн торнадо, так и вызываемых им смещений земли. В случае успеха полевых испытаний приборы такого (или несколько усовершенствованного) типа по цене менее 50 долл. смогут быть установлены в любом фермерском или городском доме той зоны США, где торнадо — явление нередкое.

Многие торнадо проходят в нижней атмосфере, не

касаясь земли и не причиняя разрушений. Однако метеорологические радары фиксируют все без разбора смерчи. Ложные тревоги приводят к тому, что жители игнорируют их. Сеть новых приборов, расположенных в радиусе примерно 30 км от города, могла бы давать оправданный сигнал тревоги заблаговременностью по меньшей мере в 5—10 мин — этого времени обычно достаточно, чтобы семья успела спуститься в подвал или хотя бы перейти в наиболее безопасную часть дома.

New Scientist. 1997. V.153. № 2076. P.26 (Великобритания).

#### Метеорология

### Криогенный имитатор природной среды

В Японии, в Синьдзэ, при Национальном институте наук о Земле и предотвращении стихийных бедствий, сооружено специально оборудованное здание, внутри которого сотрудники отдела по изучению снега и льда могут моделировать разнообразные погодные условия, исследовать сложные гляциологические, метеорологические и гидрологические явления. Названо это здание-лаборатория Криогенным имитатором природной среды.

В трехэтажном помещении действуют установки, вызывающие снегопад, снежную крупу, дождевые осадки интенсивностью до 5 мм/ч. Ветровые эффекты позволяют многократно наблюдать перенос снега со скоростью 20 м/с и устанавливать закономерности перемещения снежинок в воздухе. Наклонные лабораторные

столики площадью 3x5 м<sup>2</sup> приспособлены для изучения воздействия на снеговой покров искусственного солнечного излучения.

К числу важных практических задач, стоящих перед отделом, относится моделирование снежных лавин (которые ежегодно уносят в Японии многие человеческие жизни и приводят к значительному материальному ущербу), а также разработка надежных правил строительства в лавиноопасных районах. В частности, предполагается моделировать процессы массового таяния снега и стока талых вод, приводящие к наводнениям, определять влияние альбедо снежного покрова на характер таяния и т.п.

Для конструкторского персонала лаборатория послужит полигоном, на котором будут проверяться, совершенствоваться, калиброваться новые приборы и телеметрические установки метеогляциолого-гидрологического назначения, позволяющие снимать показания с помощью искусственных спутников Земли.

Строительство Криогенного имитатора природной среды и его оборудование обошлись в 12 млн долл. США.

Science. 1997. V.276. № 5312. P.537 (США).

#### Гляциология

### Гренландские ледники «хужеют»

Американо-датская группа ученых во главе с Э.Дж.Райнот (E.J.Rignot; Лаборатория реактивного движения, Пасадена, штат Калифорния, США) и С.Эюльмом (E.Ekholm; Геодезичес-

<sup>1</sup> См. также: Голос торнадо услышан // Природа. 1997. № 6. С.110.

кое управление Дании, Копенгаген) выполнили гляциологический анализ изображений северных и северо-восточных районов Гренландии, которые были получены со спутников телеметрического изучения Земли «ERS-1» и «ERS-2». Интерферометрической радиолокационной съемкой были охвачены 14 выводных ледников — быстро движущихся потоков, которые осуществляют основной сход льда общим объемом 53 км<sup>3</sup>/год (при средней плотности льда 0.917).

Изучение космоснимков показало, что расход льда у ледников, впадающих в Северный Ледовитый океан, в 3.5 раза превышает прежние оценки, сделанные лишь по массе откалывающихся айсбергов. По-видимому, процесс таяния подводной части ледников идет весьма интенсивно. Отсюда делается вывод: гренландское оледенение в настоящее время «худеет», что, в частности, способствует поднятию уровня Мирового океана.

Science. 1997. V.276. № 5314. P.934 (США).

Палеогеография

**Планету подогрел выброс метана?**

Существуют геологические свидетельства того, что 55 млн лет назад за очень короткое время — не более 1 тыс. лет — температура на Земле резко поднялась, что позволило многим видам сухопутных животных и растений заметно продвинуться к северу на ранее недоступные им арктические территории. Причины столь быстро наступившего в конце эпохи палеоцена потепления до конца неясны.

Свое объяснение предлагают Дж.Р.Диккенс с коллегами (J.R.Dickens; Университет штата Мичиган, Анн-Арбор, США). Они указывают на то, что в донных осадочных породах, окружающих континенты, захоронены огромные массы метана в виде его твердых газогидратов, при разложении которых метан может выделяться в атмосферу. Если предположить, что такое разложение в палеоцене действительно произошло, то состав земной атмосферы должен был кардинально измениться, приводя к перестройке климата всей планеты. Кроме того, выделение метана в состоянии объяснить и существенные изменения в химическом составе Мирового океана, происшедшие как раз в то время.

Для проверки своей гипотезы авторы построили математическую модель последствий разложения примерно 1.12 трлн т газогидратов за срок, не превышающий одно тысячелетие (взятое для вычислений количество этого вещества составляет около 10% отложений, реально существующих сегодня).

Компьютерная модель показала, что в этих условиях значительная часть метана должна была окислиться, образовав диоксид углерода, а накопление в атмосфере CO<sub>2</sub> могло привести к потеплению в глобальных масштабах — на 1.7—1.9°C. Изменился бы также изотопный состав примесей океанской воды: поскольку газогидраты метана богаты легким изотопом углерода, океан на определенное время должен был насытиться большим количеством <sup>12</sup>C.

Образцы осадочных пород, относящихся к эпохе палеоцена, действительно содержат свидетельства того, что количество <sup>12</sup>C

внезапно возросло, однако удовлетворительного объяснения смене соотношения изотопов до сих пор не было. Новая гипотеза находит немало сторонников среди специалистов.

Geology. 1997. V.25. № 3. P.259 (США).

Палеоклиматология

**Похолодание было долгим**

До сих пор считалось, что в самом конце последнего материкового оледенения, между 10800 и 10300 гг. (молодой дриас), на Земле произошло сравнительно краткое, но сильное похолодание, вслед за которым началась современная геологическая эпоха — голоцен. Такой общепринятый ход событий подвергают сомнению Г.Маллинс и Э.Ито (H.I.Mullins, E.Ito; Швейцарский федеральный технологический институт, Цюрих).

Пробунив дно оз.Сенека, которое расположено южнее оз.Онтарио в центральной части штата Нью-Йорк, ученые подняли колонку грунта; он образован мягкими глинами, которые отлагались веками. Анализ соотношений изотопов кислорода в этих осадках позволил определить температуры, существовавшие в различные периоды времени. Результаты анализа свидетельствуют о том, что район оз.Сенека между 10-м и 8-м тысячелетиями был охвачен сильнейшим похолоданием. Этот ранее не известный «холодный эпизод», который тянулся дольше и был более интенсивным, чем неплохо изученный молодой дриас, авторы связывают с тем, что ледниковая шапка Гренлан-

дии в тот период значительно отступила и вся область Великих озер из-за обильного таяния была залита холодными водами ледникового происхождения. Полагают, что морозные погоды на долгое время стали обычными для значительной части Северного полушария, возможно, охватив Европу, Аляску, Гренландию и акваторию Атлантического океана.

Geology. 1997. V.25. № 2. P.135 (США).

#### Палеонтология

### Место кладок динозавров стало музеем

В 1995 г. французский палеонтолог-любитель А. Кабо (A. Cabot) нашел на юге страны, около городка Мэз, несколько окаменелых яиц различных видов динозавров. Группа специалистов из Института эволюционных наук в Моплелье провела совместно с первооткрывателем обширные поиски и раскопки. К середине 1997 г. здесь уже было обнаружено несколько тысяч гнезд динозавров и в каждом — по 5—15 яиц. Их возраст определен в пределах от 65 до 51 млн лет. В те времена юг нынешней Франции представлял собой равнину, покрытую тропической растительностью и пересеченную множеством рек и речушек.

Принадлежность яиц конкретным видам и родам динозавров пока не установлена. Однако специалисты полагают, что они относятся по меньшей мере к шести различным формам. Вероятно, некоторые из яиц содержат окаменелые эмбрионы, изучение которых позволит определенно ответить на этот вопрос.

На месте находки организован музей.

New Scientist. 1997. V.153. № 2074. P.13 (Великобритания).

#### Археология

### «Новгородский» мастиф

Хотя систематические археологические исследования в Новгороде ведутся на протяжении 65 лет, интерес к ним не угасает. И это понятно: Новгород — колыбель русской государственности, один из крупнейших городов и культурных центров не только Древней Руси, но и всей средневековой Северной Европы; под его современными улицами, площадями и кварталами прекрасно сохраняются остатки материальной и духовной культуры X—XV вв. — постройки и сооружения, предметы повседневного быта и украшения, музыкальные инструменты и берестяные грамоты, много вещей из дерева, железа, цветных металлов, камня, кости и рога, стекла, янтаря и других материалов.

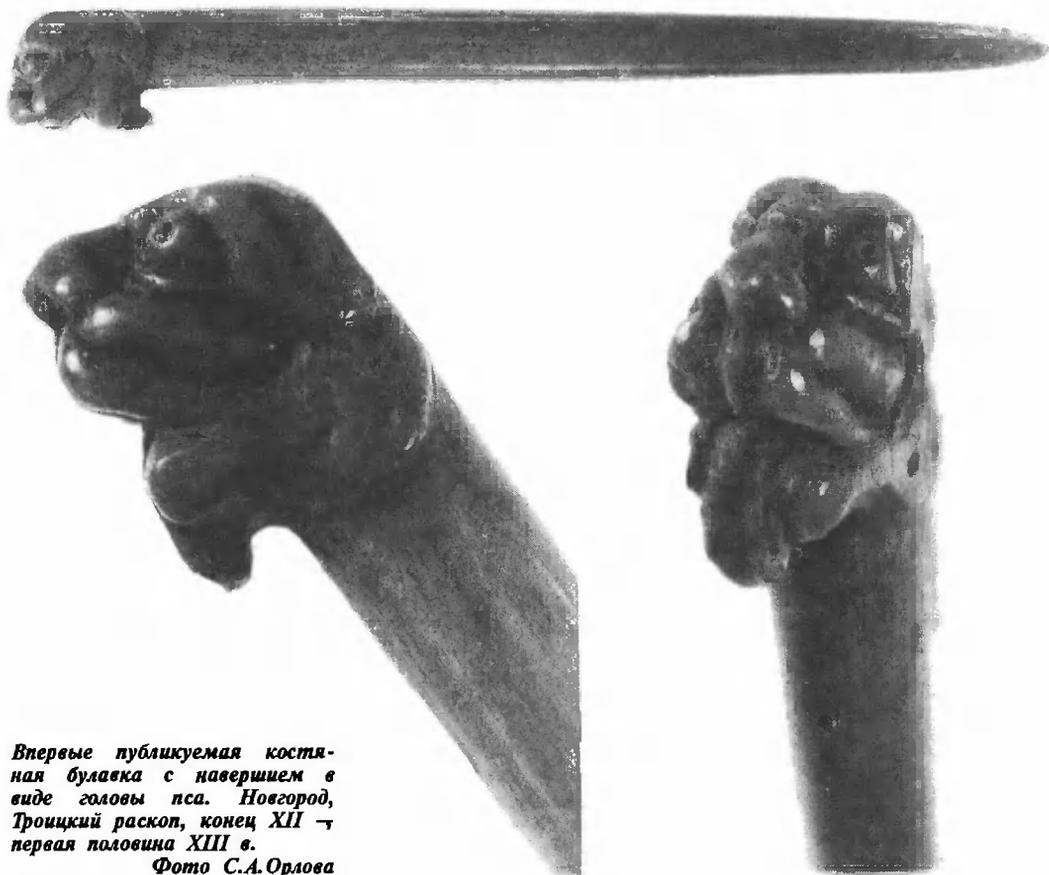
С 1973 г. Новгородская археологическая экспедиция под руководством В.Л. Янина работает на Троицком раскопе в Людином конце. В 1997 г. в культурном слое городской усадьбы, располагавшейся на перекрестке древних Пробойной и Черницыной улиц, обнаружено костяное острие длиной 8.2 см с зооморфным навершием, изображающим голову собаки с открытой пастью и опущенным языком. По всей вероятности, шею пса с боков охватывает широкий ошейник, возможно с шипами или бляшками, обозна-

ченными с обеих сторон тремя точками.

В коллекции новгородских древностей известны три категории вещей, с костяным острием: писала, проколки и булавки. Наша находка, по всей вероятности, — булавка, возможно, ошейная. Ее предварительная датировка — конец XII — первая половина XIII в. Научная ценность этого предмета определяется реалистичностью зооморфного изображения, что позволяет дополнить историю племенного собаководства — неотъемлемой части культурно-исторического наследия.

По мнению кинологов, строение головы пса отражает одну из наиболее характерных особенностей породы, что позволяет реконструировать весь экстерьер собаки, ставшей прототипом ее изображения на булавке. Форма головы округлая или квадратная. Лоб — выпуклый с резким и коротким переходом к короткой и квадратной морде, верхняя линия которой параллельна линии лба или даже приподнята (вздёрнута) кверху. Брыли — губы собаки, свободно свисающие по бокам, — мускулистые, возможно, частично прикрывали нижнюю челюсть. Уши — висящие и высоко посаженные, очевидно, на хрящах. По всей вероятности, собака была гладкошерстной.

Эти характеристики привлекают внимание к современной группе догообразных пород. Кинологи ведут их происхождение от тибетских собак — пастушьих, охотничьих и боевых, известия о которых находят в памятниках письменности и искусства Древнего Востока (Ассирия, Вавилон). Предполагается, что они появились в Греции (где стали называться молоссами) после похода Александра Македонско-



*Впервые публикуемая костяная булава с навершием в виде головы пса. Новгород, Троицкий раскоп, конец XII — первая половина XIII в.  
Фото С.А. Орлова*

го. В эпоху Римской империи молоссы распространились по всей Европе. Впоследствии, вероятно, этих собак под названием мастифов разводили при дворах феодальной знати.

На булавке с Троицкого раскопа особенности экстерьера изображенной собаки близки древним молоссам. При этом наибольшее сходство можно отметить с современными породами — несколькими разновидностями мастифов, бульмастифом и американским бульдогом, в котором, как предполагается, сохранились характерные черты староанглийского

бульдога. Вряд ли правомерно искать связь между «новгородским» мастифом и какой-либо современной породой, однако его сходство с группой догообразных и древними молосскими собаками несомненно.

Скорее всего, булава с Троицкого раскопа принадлежит работе западноевропейского мастера и попала в Новгород в результате торгового обмена: в искусстве Древней Руси образы собак единичны и условны, а в Западной Европе традиция их изображения имеет глубокие корни. Кроме того, на Троицком раскопе найдены

костяные вещи XII—XIII вв., характерные для западноевропейских древностей. Конечно, при раскопках в Новгороде встречаются черепа и кости собак, но у них не отмечено сходство с догообразными породами.

Поиск аналогий троичской булавке среди археологических древностей пока не дает положительных результатов. Видимо, этот предмет был сделан по индивидуальному заказу и не предназначался для массового тиражирования.

© А.Н.Сорокин,  
кандидат исторических наук  
Москва

## О России и Советском Союзе — с любовью и знанием дела

П. М. Полян,

кандидат географических наук  
Институт географии РАН  
Москва

**П**РОФЕССОР Фрайбургского университета Йорг Штадельбауэр принадлежит к числу крупных зарубежных специалистов по бывшему Советскому Союзу и странам-наследницам. Их экономической и социальной географией он занимается уже более 35 лет. За эти годы он побывал, что называется, «на месте» не менее 25 раз и опубликовал более 100 работ по экономическим и социальным проблемам географии этого макрорегиона. Его кандидатская диссертация посвящена Туркмении (1962), а докторская — аграрной географии Закавказья (1979), поэтому появление обобщающего труда было естественно и логично.

Штадельбауэр начал работать над книгой об СССР со второй половины 80-х годов. Однако когда она была уже готова, объект изучения распался на 15 стран. Поневолле «рассыпался» и набор. Сегодня писать об этом регионе, сетует автор в предисловии, значит подвергаться риску не поспеть за стремительными переменами и оказаться в положении, когда каждая новая корректура уже безнадежно устарела. В то же время именно географическая составляющая остается одной из немногих если не констант, то по крайней мере устойчивых компонентов его развития.



**Jörg Stadelbauer.** Die Nachfolgestaaten der Sowjetunion. Großraum zwischen Dauer und Wandel. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1996. (Wissenschaftliche Länderkunden; Bd.41.) 660 S.

**Йорг Штадельбауэр.** Страны-наследницы СССР. Гигантское пространство между застоём и переменами. Дармштадт: Виссеншафтliche Бухгезельшафт, 1996. (Сер.: Научное землеведение, Т.41.) 660 с.

Казалось бы, способ переработки текста очевиден. Достаточно охарактеризовать «Союз нерушимый» до его распада и после, а затем — описывая каждый кусок по привычным страноведческим схемам. Немецкий ученый выбрал иной, куда более сложный, но в то же время продуктивный и новаторский путь — анализ крупных проблемных блоков по всему ареалу бывшего СССР. Опи-

сания сопровождаются множеством конкретных примеров и иллюстраций на любом уровне — от горского аула до республики в целом.

Соответственно 660-страничный фолиант структурирован следующим образом: 1. Прологомен: введение и концептуальные размышления; 2. Пространство и политика: государство, хозяйство и общество как части единой системы; 3. Пространство и общество: население и поселения в Советском Союзе и странах-наследницах; 4. Пространство и история: российская экспансия и конкурирующие силы; 5. Пространство и природа: природные потенциалы и ограничения хозяйственного использования; 6. Пространство и хозяйство: организация и достижения народного хозяйства в Советском Союзе и наследующих ему странах; 7. Глобальные стимулы и региональное развитие: страны-наследницы бывшего СССР в контексте глобальных проблем. Такое, не вполне традиционное, членение книги дает автору дополнительный ресурс гибкости: исходный материал систематизирован и работает на целое.

Заключительный раздел книги озаглавлен так: «Будущее в прошлом? Постоянное и переменное в пространственных структурах». По мнению автора, шанс на последовательное системное реформирование бывшего СССР как единого целого был упущен в 1987 г., т.е.

при Горбачеве. И до сих пор во всем этом ареале ощущается сквозной, объединяющий фон, некая универсальная атмосфера: пошатнувшаяся промышленность, едва теплящееся сельское хозяйство, повсеместное экологическое неблагополучие, распад социальных механизмов и гарантий. Вместе с тем на гигантском пространстве бывшей империи нашлось достаточно места для новых государств с самыми различными историческими ориентирами: от прозападного постиндустриализма до чуть ли не феодального средневековья. Даже внутри одного государства, такого как Россия, например, отмечаются подчас не просто растущие социально-экономические диспропорции или стремительно изменяющиеся тенденции (например, в направлениях внутренних миграций — ныне устремленных с северо-востока на юго-запад), но и противоположные траектории развития (например, Ульяновская и Нижегородская области).

Способность Й.Штадельбауэра систематически искать, находить, воспринимать и перерабатывать

самую разнообразную информацию восхищает. Сырьем и топливом для книги служило буквально все: солидная российская статистика (единое статистическое пространство бывшего СССР до сих пор не воссоздано), публикации и доклады коллег, многочисленные журнальные и газетные заметки, впечатления от поездок по странам СНГ и Прибалтике. Заметное преобладание при этом российского субстрата, на мой взгляд, не только закономерно, но и оправданно той стержневой ролью, какую Россия и сегодня играет на бывшей «одной шестой земного шара».

Вместе с тем новаторский, структурный подход к проблеме сочетается у автора с традиционным способом подачи материала: четыре ступени иерархии текстов, 60-страничный список использованной литературы, географический регистр. Особо следует сказать об оформлении книги: в ней 81 черно-белая иллюстрация, в основном — карты (картами являются и пять цветных вкладок). Они посвящены следующим сюжетам: территориальное развитие Российской империи и СССР,

административное деление стран-наследниц бывшего СССР, физико-географическая и этнолингвистическая дифференциация территории, а также экономико-географическая характеристика Российской Федерации.

Книга Й.Штадельбауэра (Дармштадт, 1996) вышла почти одновременно с монографиями двух других западных ученых: француза Жана Радвани — «Новая Россия. После 1991: новое "время беды"» (Radwanyi J. La nouvelle Russie. L'après 1991: une nouveau «temps de troubles». Paris, 1996) и канадца Джеймса Батера — «Россия и постсоветская сцена: географическая перспектива» (Bater J.H. Russia and the Post-Soviet Scene: a geographical perspective. Waterloo, 1996). Эти издания, конечно, заслуживают отдельного рассмотрения.

В то же время на фоне западных монографий становится особенно заметным отсутствие аналогичных обобщений (не исследований!), сделанных учеными из России или других стран СНГ.

Кто поднимет «перчатку», брошенную западными коллегами?..

## «Стахановский» дрейф

В. С. Корякин,

кандидат географических наук

Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия  
Москва

Год назад, в мае 1997 г., в Колонном зале дома Союзов отмечали 60-летний юбилей высадки на полюс легендарной полярной экспедиции «Северный полюс», проходившей на дрейфующих льдах Северного Ледовитого океана. Этот уникальный эксперимент довольно хорошо известен старшему и среднему поколению соотечественников. О «СП-1» написано немало книг и статей. Однако спустя десятилетия «всплывает» многое, о чем было принято умалчивать, дабы не разрушить героический ореол времени. Наименее известен, как мне кажется, финал экспедиции в Гренландском море в феврале 1938 г. Он выглядит драматически на фоне других событий, трудных для страны 30-х годов. А началось все с далеко идущих, захватывающих планов.

В середине 30-х годов на трассе Северного морского пути в летние месяцы плавали уже десятки судов, остро нуждавшихся в прогнозе ледовой обстановки. Необходимая информация поступала с полярных станций на океанском побережье и с островов, но из района полюса ее просто не было. Такое положение не устраивало прогнозистов, поскольку окраинные моря Арктики и ее центральный бассейн, как известно, образуют единую природную систему.

Историки-полярники сходятся в том, что идея

станции на полюсе возникла у Ф.Нансена после успешного пересечения в 1926 г. Центрального Арктического бассейна на дирижабле «Норвегия» Р.Амундсеном. В нашей стране горячим сторонником организации дрейфующей станции на полюсе выступал известный ученый-полярник В.Ю.Визе, ставший после похода «Сибирякова» членом-корреспондентом Академии наук вместе с О.Ю.Шмидтом. По его инициативе<sup>1</sup> этот проект стал обсуждаться советскими учеными уже с 1929 г. В частности, Визе выступил с предложением о создании полюсной станции в ноябре 1931 г. на заседании международного общества «Аэро-арктик» в Ленинграде, предлагая включить этот проект в программу Второго Международного полярного года.

В 1934 г., сразу же после гибели «Челюскина», П.П.Ширшов предложил открыть запись в экспедицию на дрейфующей льдине через Полярный бассейн, что было его заветной мечтой<sup>2</sup>. Вообще, сторонников создания дрейфующей станции было немало.

Начало реализации одного из самых известных научных проектов столетия Э.Т.Кренкель, принимавший в нем участие, описывает крайне буднично: «Шмидта

вызвал Сталин. 13 февраля 1936 года... Отто Юльевич и несколько знаменитых летчиков, в том числе Леваневский и Громов, отправились в Кремль. Сталина интересовала проблема трансполярных перелетов... В такой ситуации, как говорится, сам Бог велел Шмидту доложить о проектах организации станции "Северный полюс"<sup>3</sup>. Великий диктатор в полной мере оценил их. Таким образом, организация дрейфующей станции с самого начала была только частью обширного плана, включающего и полеты через Арктику.

### ПОДГОТОВКА И СБОРЫ. ОТБОР ПЕРСОНАЛА

«Первым в работу по подготовке экспедиции, — продолжает Кренкель, — включился Михаил Васильевич Водопьянов. По приказу Шмидта вместе с летчиком В.М.Махоткиным он 29 марта 1936 г. вылетел на север. Задача летного отряда — найти место для будущей базы<sup>4</sup>. Ею стал о.Рудольфа в архипелаге Земля Франца-Иосифа.

В лучших традициях своего времени операция проводилась - в глубокой тайне: о самом полете сообщалось, а о его цели даже штурман В.И.Аккуратов узнал только на Земле Франца-Ио-

<sup>1</sup> См.: Визе В.Ю. Моря Советской Арктики. М.; Л., 1948. С.373.

<sup>2</sup> См.: Хмызников П., Ширшов П. На «Челюскине». Л., 1936. С.118.

<sup>3</sup> Кренкель Э.Т. РАЕМ — мои позывные. М., 1973. С.411—412.

<sup>4</sup> Кренкель Э.Т. Цит. соч. С.412.

*О.Ю.Шмидт и И.Д.Папанин на испытаниях палатки будущей дрейфующей станции в Теплоем Стане. Зима 1937 г. Публикуется впервые. Все фотографии из личного архива М.И.Ширшовой.*



сифа. Летом 1936 г. началось сооружение авиабазы на о.Рудольфа под руководством И.Д.Папанина. Взлетно-посадочная полоса располагалась на леднике, причем предназначалась она для переоборудованного дальнего четырехмоторного бомбардировщика, загруженного до отказа.

Наладив работу, Папанин отбыл с последним судном, поручив дальнейшую работу гидрологу А.С.Либинову, с которым вместе зимовал на Земле Франца-Иосифа и мысе Челюскин. Состав участников операции определен позднее, причем особые требования предъявлялись, разумеется, к руководителю первой дрейфующей станции. С первых же дней подготовки экспедиции Шмидт договаривался с Визе о том, что «арктический профессор» (так называли Визе) лично возглавит работу дрейфующей станции<sup>5</sup>. Для такого выбора были все основания, поскольку к тому времени В.Ю.Визе был ведущим специалистом в области ледового и погодного прогнозов для высоких широт, имел большой «полевой» опыт исследований, и, наконец, его намечал для похода к полюсу сам Г.Я.Седов в экспедиции 1912—1913 гг. Однако Визе отказался из-за возраста (ученый родился в 1886 г.) и по состоянию здоровья. Что касается Шмидта, то и он не собирался участвовать в дрейфе. Он был его организатором, и

эта роль освещена в литературе настолько полно, что не требует пояснений. Остановимся подробнее на самих участниках дрейфа.

Наиболее опытным полярником из планирующего «экипажа» льдины оказался Кренкель, выходец из семьи обрусевших немцев. В свои 34 года он уже четырежды зимовал на полярных станциях Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и Северной Земли, был радистом в международной экспедиции «Аэроарктик» на дирижабле «Граф Цеппелин» в 1931 г., а также в походах «Сибирякова» в 1932 г., который впервые прошел трассу Севморпути без зимовки, и «Челюскина» в 1933 г. Одним из последних оставил лагерь челюскинцев в апреле 1934 г.

Старшим по возрасту на «Дрейфующей станции Главсевморпути» (так тогда называли «СП-1») был Папанин (родился в 1894 г.). До революции — черноморский матрос, в годы гражданской войны — чекист, активный участник разгрома Врангеля, позднее служил в КрымЧК. Затем перешел в Наркомат связи. В 20-е годы построил

радиостанцию на золотых приисках Якутии. В Арктике принимал почту от Кренкеля с дирижабля «Граф Цеппелин». Будучи начальником полярных станций Бухта Тихая и Мыс Челюскин, зимовал вместе с Е.К.Федоровым и Либиным.

Ширшов был моложе Кренкеля на два года. Окончил Днепропетровский институт народного образования. В 1930 и 1931 гг. участвовал в экспедициях на Кольский п-ов и Новую Землю, а также в походах «Сибирякова» и «Челюскина» в качестве гидробиолога. На льдине отвечал за весь комплекс исследований, связанных с изучением океана.

Самый молодой в четверке папанинцев — Федоров (родился в 1910 г.). В 1931 г. окончил физический факультет Ленинградского университета по специальности геофизика. Дважды зимовал с Папаниным. Помимо геофизических исследований в дрейфе выполнял на льдине обязанности штурмана, определяя ее координаты. Таким образом, из персонала «Северного полюса» только двое имели опыт

<sup>5</sup> См.: Григорьев Г. Дороги ведут в Арктику. М., 1969. С.152—153.



жизни и работы на дрейфующем льду и только один (Папанин) был членом партии.

В короткой статье невозможно перечислить всех 44 участников воздушной экспедиции на Северный полюс. Отметим только, что заместителем Шмидта по летной части был М.И.Шевелев. Командирами тяжелых самолетов — Герои Советского Союза М.В.Водопьянов, С.В.Молоков (оба получили звание за спасение челюскинцев), а также А.Д.Алексеев и И.П.Мазурук. Еще двумя легкими самолетами-разведчиками командовали П.Г.Головин и Л.Г.Крузе. Важную роль в экспедиции сыграл синоптик Б.Л.Дзержазевский (впоследствии доктор физико-математических наук, руководитель отдела климатологии в Институте географии АН СССР).

#### ПУТЬ К ЦЕЛИ

13 февраля 1937 г. Шмидт на высоком совещании, где решалась судьба первой дрейфующей станции, наконец, получил разрешение высадиться на ней вместе с остальными участниками, хотя К.Е.Ворошилов долго уверял присутствовавших, что руководить экспедицией можно по радио из Москвы. Член Политбюро В.Я.Чубарь (репрессирован спустя два года) представил в качестве начальника дрейфующей станции Папанина, отметив его жизнерадостность и организаторский талант. Руководившего совещанием Сталина удивило отсутствие среди летчиков своего любимца Леваневского — тот был в командировке в Америке. Вождь утешился тем, что Леваневский первый воспользуется новой станцией при транспортном по-

лете в Америку. Именно такие перелеты больше всего интересовали Сталина<sup>6</sup>. Наконец-то можно было вылетать — сначала участникам полюсной экспедиции, а затем авиаторам в Америку.

22 марта воздушные корабли взлетели с Центрального аэродрома и взяли курс от московской распутицы в полярную зиму. В Холмогорах, под Архангельском, самолеты «переобули», заменив колеса лыжами.

Через Нарьян-Мар и Маточкин Шар на Новой Земле воздушная экспедиция 19 апреля прибыла на о.Рудольфа.

Вновь потянулись томительные дни ожидания, прерываемые докладами Дзержазевского с неизменной концовкой: «Лететь не рекомендую...» Воздушный путь до

<sup>6</sup> См.: Кренкель Э.Т. Цит. соч. С.420.

*Временный лагерь после высадки на полюс. Публикуется впервые.*

*Начальник станции «Северный полюс» И.Д.Папанин. Публикуется впервые.*

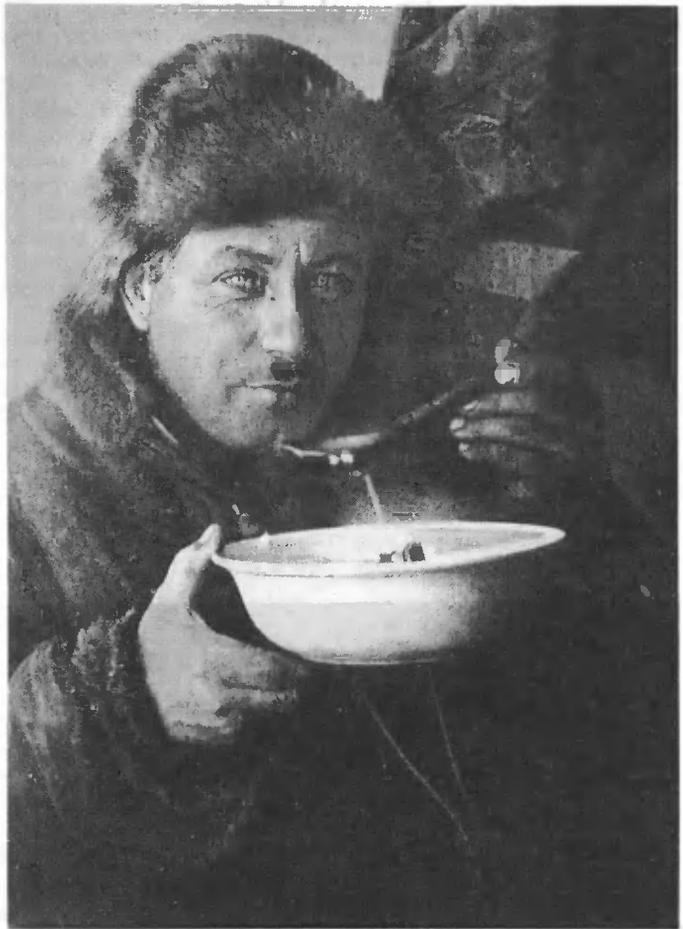
о.Рудольфа протяженностью 4000 км занял 27 сут., из которых на летное время пришлось всего 19 час. До цели оставалось 900 км и больше месяца напряженного ожидания. Первые полеты разведчиков не принесли чего-либо утешительного. Однако 5 мая Головин, установив тайком на своем самолете дополнительный бензобак, вызвал на базе переполох длительным отсутствием — оказалось, он успел слетать на полюс. За полыней севернее архипелага Земли Франца-Иосифа авиаторы обнаружили прочные ледяные поля, способные выдержать любую машину, оставалось только в этом убедиться. В полете была установлена надежность радиомаяка.

Только спустя две недели флагманский самолет Водопьянова вылетел с персоналом станции, корреспондентами и кинооператорами на север — теперь все зависело от удачной посадки перегруженной машины (общий вес 24 т). При посадке вышло из строя радио, и только 24 мая Шмидт известил мир о высадке у полюса, добавив, что толщина льда достигает трех метров. Участники экспедиции установили неподалеку от самолета пять палаток с радиомачтами и массой ящиков с оборудованием, продовольствием и всем необходимым для дрейфующей станции. К тому времени координаты места посадки составили 89°35'с.ш., 58°з.д.

25 мая, когда Крузе провёл разведку погоды, остальные

самолеты направились к своему флагману, но долетели только машины Мслокова и Алексеева, самолет Мазурука сел за полюсом, примерно в ста километрах от остальных, задержавшись здесь из-за непогоды до 5 июня. Тем временем в главном дрейфующем лагере вовсю шло строительство — из снега и льда сооружался достаточно просторный дом с отделением для движка. Сюда же перенесли и рацию.

6 июня самолеты взяли курс на о.Рудольфа и уже 25 июня приземлились в Москве. На острове для страховки дрейфующей четверки остался экипаж Мазурука.



#### ОДИНОКАЯ ЧЕТВЕРКА

Персонал дрейфующей станции отдавал все силы элементарному жизнеобеспечению и выполнению научной программы. Четыре раза в сутки проводились метеорологические наблюдения, зарегистрировавшие интенсивную циклоническую деятельность в центре Арктики, что явилось неожиданностью. Первое же измерение глубины океана 7 июня показало положение дна на отметке 4290 м, причем под слоем холодной полярной воды на глубинах 400—750 м обнаружили сравнительно теплые атлантические воды с



**Гидробиолог П. П. Ширшов.**  
**Публикуется впервые.**

температурой до  $+0.8^{\circ}\text{C}$ . К сожалению в придонном слое батометр не выдержал давления водной толщи. Ближайшее будущее не внушало опасений, поскольку считали, что средняя скорость дрейфа в направлении Атлантического океана около 1—2 мили в сутки и через 10—12 месяцев, весной 1938 г., льдина отойдет к югу примерно до  $83-81^{\circ}\text{с.ш}$ . Здесь предполагалось снять зимовщиков самолетами<sup>7</sup>.

С 10 июня Кренкель стал внимательнее прослушивать эфир. Ожидали появления самолета В.П.Чкалова, надеясь получить свежую почту. В связи с этим участились метеонаблюдения, вплоть до ежечасных. Папанину даже послышался гул мотора... Чкалов пролетел над облаками и лагеря не увидел<sup>8</sup>.

20 июня зимовщики поставили очередную гидрологическую станцию, обнаружив дно на глубине 4374 м. Несколько изменился характер грунта. Промеры глубин производились вручную и были весьма трудоемкими. Лето с его таяньем принесло свои заботы. Кренкель отмечает: «Папанин роет канал, пытаясь отвести огромную лужу от нашей палатки. Это первый арык на полюсе, из него черпаем воду для кухни. Передвижение крайне затруднено... Единственное сухое место во всем Поляр-

<sup>7</sup> См.: Федоров Е.К. Полярные дневники. Л., 1979. С.249.

<sup>8</sup> См.: Кренкель Э.Т. Четыре товарища. М., 1940. С.67.

**Радист Э.Т.Кренкель.** **Публикуется впервые.**

ном бассейне — это внутренность нашей палатки»<sup>9</sup>.

23 июля над полюсом пролетел самолет Громова — льдина в это время приближалась к 88°с.ш. Вскоре Москва приказала «набираться сил для выполнения нового задания». 13 августа было получено указание следить за полетом Леваневского на самолете Н-209. Кренкель зафиксировал прохождение полюса этим самолетом, но вскоре рация Н-209 умолкла... Сорок часов непрерывной вахты в эфире не принесли ничего нового — тайна исчезновения экипажа Леваневского не раскрыта до сих пор.

В первые сто дней дрейфа льдина смещалась к югу несколько быстрее, чем предполагалось — до 5.5 км в сутки, приближаясь к истокам Восточно-Гренландского течения. Но об этом пока люди на льдине не задумывались — их больше заботило приближение зимы. После утепления палатки, по сообщению Кренкеля, «стало теплее. На дворе 8 градусов мороза, в палатке плюс 7. Быстро дрейфуем на юг, по ночам ветер, пурга. На трех нартах устанавливаем аварийный запас продуктов, горючего, одежду, палатки»<sup>10</sup>. 6 октября наступила полярная ночь, похолодало до -20°, снег плотным пушистым ковром укрывал окрестные торосы и смерзшующую шугу в разводьях. Описав в эти дни небольшую петлю на 84°с.ш., льдина снова устремилась к югу.

В отличие от экспедиций прошлого века, радио позволяло быть участникам дрейфа в курсе всех событий страны. Еще в июне они узнали о присвоении звания Героев Советского Союза Шмидту, Шевелеву, Папанину, высадившим их у полюса командирам самолетов — Алексееву, Мазуруку, Головину.

Но события были не только радостными. На Родине шли зловещие процессы над «разоблаченными врагами народа». Осенью с трассы Северного морского пути стали поступать самые мрачные вести, вскоре отразившиеся и на судьбе Главного управления Северного морского пути (ГУ СМП), и всех

полярников. В конце навигации транспортные суда и ледоколы, оставшись без топлива и ледовой разведки, поскольку самолеты были брошены на поиски Леваневского, стали вмерзать в лед. Всего тогда в Арктике зазимовало 26 кораблей — это был очевидный провал, поначалу непонятный на фоне успехов предшествующих лет. В октябре на последних остатках угля капитан В.И.Воронин увел ледокол «Ермак» из ледяного мешка Карского моря под проклятья оставленных на зимовку. Это было единственно верное решение: без последнего оставшегося «на ходу» ледокола навигация 1938 г. превратилась бы в сплошные



<sup>9</sup> См.: Белов М.И. История открытия и освоения Северного морского пути. Л., 1969. Т.4. С.319.

<sup>10</sup> См.: Лактионов А.Ф. Северный полюс. М., 1960. С.275.



*И.Д.Папанин и О.Ю.Шмидт на борту «Ермака».*

поминки по зазимовавшим судам. Реакцию на причину массовой зимовки судов Папанин отмечает в своем дневнике: «Нам рассказали о врагах народа, вредителях и диверсантах, пробравшихся в Главное управление Северного морского пути»<sup>11</sup>.

Однако ситуация на льдине становилась тревожной и по другим причинам. Читаем у Папанина (16 октября): «Скорость дрейфа настолько велика, что мы не можем делать очередную гидрологическую станцию. Тросик с батометром все время уводит под нижнюю

часть льдины»<sup>12</sup>. То же у Кренкеля: «За сутки 8 миль — скорость основательная»<sup>13</sup>. На фоне происходящего в Арктике о судьбе зимовщиков первой дрейфующей задумался Шевелев, находившийся на о.Рудольфа. «Он хочет предложить Москве снять нас со льдины в декабре, — записал в дневнике Папанин. — В ответ мы заявили, что категорически возражаем против такой поспешной ликвидации нашей станции»<sup>14</sup>.

В Главсевморпути понимали все политическое и пропагандистское значение завершения дрейфа и не сомневались, что Сталин (тем

более после провала навигации по Северному морскому пути) и его окружение не простят Шмидту какого-либо ЧП при эвакуации папанинцев, несмотря даже на полученное им звание Героя.

27 ноября проходило совещание о мерах по снятию участников дрейфа при начальнике Морского управления ГУ СМП. Известный знаток Арктики профессор Н.Н.Зубов отметил на нем, что «мы теперь расплачиваемся за точку зрения о том, что не следует особо исследовать Гренландское море»<sup>15</sup>. Обсуждались два вопроса: первый — о положении кромки дрейфующих льдов, второй — о времени

<sup>12</sup> Папанин И.Д. Цит. соч. С.118.

<sup>13</sup> Кренкель Э.Т. Цит. соч. С.191.

<sup>14</sup> Папанин И.Д. Цит. соч. С.134.

<sup>15</sup> Стенограмма совещания при начальнике Морского управления ГУ СМП // Рос. гос. арх. экономики (РГАЭ). Ф.9570. Оп.2. Т.1. Д.698. Л.7.

<sup>11</sup> Папанин И.Д. Жизнь на льдине. М., 1938. С.111.

появления льдины у кромки. Приведенный ниже отрывок стенограммы без комментариев говорит сам за себя:

«Остальцев (один из аппаратчиков. — В.К.): Не исключена вероятность, что их (папанинцев. — В.К.) придется ловить на 65°с.ш.

Зубов: Мы в феврале будем знать, где льдина будет в мае...

Остальцев: Возможно ли, что ледокол подойдет к кромке и не сможет пройти?

Зубов: Такие шансы есть, и это наиболее вероятно в марте-апреле.

Остальцев: Сможем ли мы за ними послать самолет?

Зубов: Да»<sup>16</sup>.

Самолет, конечно же, мог долететь, но не сесть на перемолотые сжатиями льды Гренландского моря. Рекомендации совещания свелись к тому, чтобы в марте

выслать патрульное судно, которое в апреле подошло бы к кромке льда, а в конце апреля перевести ледокол (единственный не зимовавший во льдах «Ермак») в Баренцбург на Шпицбергене, оттуда он сможет действовать по вызову со льдины.

#### SOS, КОТОРОГО НЕ БЫЛО

Развитие событий на льдине приобретало угрожающий характер. 20 декабря Федоров записал в дневнике: «37 миль за четверо суток... Подгоняемые крепким ветром, в пурге мы быстро пошли к югу, оставляя в 30 милях справа берег, на который с грохотом ломаюсь, громоздятся ледяные поля...

23 декабря... «Ермак» срочно ремонтируется и будет готов 1 апреля, когда пойдет в Баренцбург. Патрульное судно «Мурманец» в феврале начнет крейсиро-

вать у кромки возле нас»<sup>17</sup>. Кренкель в свою очередь выдал такой прогноз: «...дрейф подходит к концу. В апреле-мае мы, вероятно, будем стоять на надежной палубе ледокола»<sup>18</sup>. В ближайшие дни Ширшов, казалось, подтвердил такой вывод, нащупав дно океана всего на глубине 217 м. Глубины уменьшились в первые дни нового 1938 г. еще более.

Теперь темпы дрейфа («стахановского», по определению Кренкеля) нарастали так стремительно, что планирование эвакуации станции

<sup>17</sup> Федоров Е.К. Цит. соч. С.254.

<sup>18</sup> Кренкель Э.Т. Цит. соч. С.243.

*После завершения дрейфа на палубе «Ермака». Слева направо: П.Н.Ширшов, Э.Т.Кренкель, И.Д.Папанин, Е.К.Федоров.*

<sup>16</sup> Там же. Л.19.



не успевало за ними. Разумеется, в Москве судьба участников дрейфа определялась не гуманитарными соображениями, а прежде всего политическими реалиями. Ежовские «голубые фуражки» впервые в своей практике готовились расправиться с Героем Советского Союза — О.Ю.Шмидтом, но последовала команда отставить. Шмидту приказали присутствовать при спасении папанинцев, а затем руководить выводом зазимовавших судов. В 1939 г. Шмидт сдал руководство ГУ СМП Папанину, что было отмечено в полярном фольклоре следующими строками:

Примеров много есть  
на свете,  
Но лучше, право, не  
найти:  
Снял Шмидт Папанина  
со льдины,  
А тот его —  
с Севморпути.

Спасение четверки было поручено Северному флоту<sup>19</sup>. Поскольку командующий СФ К.И.Душенов также вскоре стал жертвой «бдящих органов», в полной мере оценить вклад военных моряков сложно. Известно, что в операции приняли участие корабли военной гидрографии «Таймыр» (командир Б.Д.Барсуков) и «Мурман» (командир И.Ф.Котцов), три подводные

лодки, эсминец «Карл Либкнехт», Центр связи флота в Полярном — это помимо «Ермака» и зверобойного бота «Мурманец» с опытейшим капитаном из поморов И.Н.Ульяновым. Крупные корабли имели с собой легкие самолеты — во избежание конфуза спасательные средства многократно дублировались.

#### ФИНАЛ ДРЕЙФА

Первым к ледовому лагерю отправился крошечный «Мурманец» водоизмещением менее 150 тонн — это было 11 января 1938 г. В полярную ночь он нащупал кромку льда и даже пытался пробиться к дрейфующему лагерю, обитатели которого уже видели берега Гренландии. Хотя такая задача оказалась не под силу отважному экипажу, свое дело он сделал, обеспечив всех участников спасательной операции необходимой информацией. 3 февраля снялся с якоря «Таймыр», 7-го — «Мурман». 10 февраля судовая рация установила связь с Кренкелем, а еще двое суток спустя в ледовом лагере во мраке ночи увидели долгожданный прожектор с «Таймыра», в судовом журнале которого появилась запись: «По пленгу 314° виден огонь и вспышки огня в лагере Папанина»<sup>20</sup>. «Мурманца» в это время дрейфом тащило со льдами в

Датский пролив, где он наконец вышел на чистую воду. Спустя еще несколько суток к «Таймыру» приблизился «Мурман» — от ледового лагеря их отделяло примерно 40 миль непроходимого ледового пояса. К ним спешил «Ермак», оставивший 10 февраля Кронштадт. На его борту находились Шмидт, Зубов и очередное звено легких самолетов. 16 февраля вблизи лагеря дрейфующей экспедиции все же сел пилот Г.В.Власов на своем вездесущем У-2. Затем самолеты Власова и И.И.Черевичного провели ледовую разведку, и 19 февраля «Таймыр» с «Мурманом» пришвартовались в 1,5 км от лагеря папанинцев. За три с половиной часа эвакуация станции завершилась, и оба судна взяли курс на Большую землю.

Так завершился выдающийся арктический эксперимент XX в., определивший направления и методы изучения природы Центральной Арктики до конца столетия десятками дрейфующих станций. Но первой среди них была «СП-1» с экипажем в составе И.Д.Папанина, Э.Т.Кренкеля и будущими академиками П.П.Ширшовым и Е.К.Федоровым, которые также стали Героями Советского Союза.

<sup>19</sup> См.: Белов М.И. Цит. соч. С.321.

<sup>20</sup> См.: Белов М.И. Цит. соч. С.323.

Палеоэнтомология

**В.Г.Новожинов.** РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ СКОРПИОННИЦ (*Insecta: Panorpida*). М.: Наука, 1997. 140 с.

Скорпионницы (*Panorpida-Mesoptera*) — наиболее примитивный, предковый отряд мекоптероидов, появившийся в начале перми. Среди современных насекомых он занимает по числу видов скромное положение (известно около 500 из девяти семейств). Но в палеозое и мезозое они были многочисленны и дали начало другим группам насекомых.

Эта книга содержит сводку пермских насекомых скорпионниц. Базой для проведенных исследований послужили преимущественно отечественные коллекции, собранные на территории бывшего СССР и Монголии и хранящиеся в Палеонтологическом институте РАН. Автор книги подробно рассматривает особенности строения древнейших скорпионниц, их происхождение, раннюю эволюцию и связь с некоторыми близкими отрядами насекомых (например, с дочерним отрядом пермских ручейников). Ручейников нередко помещали в отряд *Panorpida*, современные морфологические исследования позволили еще раз вернуться к вопросу об их систематическом положении. Знание особенностей строения ручейников поможет воссоздать облик их ближайших предков — древнейших скорпионниц семейства *Kaltanidae*, до сих пор известных только по крыльям. Палеонтологический материал, изложенный в книге, дает возможность проследить происхождение большинства современных семейств скорпионниц, значительно изменив существующие представления об их архетипе и очередности отклонения от общего ствола.

Автор не ставил своей

задачей целиком пересмотреть систему отряда скорпионниц. Его ревизия и описание представляют собой отдельное большое исследование.

Физика.Техника

**ФИЗИКА ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА: В 2т. Т.1. РАЗВИТИЕ ВЗРЫВА.** М.: Наука. Физматлит, 1997. 528 с.

Предмет этой коллективной монографии — систематическое описание физических основ тех процессов, которые сопровождают развитие ядерного взрыва. Представлены наиболее важные и интересные математические модели, позволяющие производить расчеты сложной динамики этого явления.

Материал, помещенный в первом томе, разделен на три части: взрыв вблизи поверхности земли, высотный взрыв и взрыв вблизи границы воздух—вода. Готовится к изданию второй том, в котором будет дано физическое описание и рассмотрены математические модели наиболее важных процессов, протекающих при взаимодействии поражающих факторов ядерного взрыва с преградой.

Издание подготовлено по результатам исследований, выполненных Центральным физико-техническим институтом Министерства обороны Российской Федерации (ЦФТИ МО РФ).

Геология

**РОССИЙСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИИ И ДРУГИХ СТРАН СНГ/ Под ред. Н.П.Лаврова и Н.Г.Патык-Кара.** М.: Научный мир, 1997. 479 с.

Россыпи принадлежат к числу месторождений, освоенных человечеством с глубокой древности. До сих пор они продолжают играть важную роль как источники многих видов минерального сырья: золота, алмазов, тита-

на, циркония, олова, платиновых металлов, ювелирных и ювелирно-поделочных камней.

В книге рассмотрено сырьевое, минеральное и морфогенетическое разнообразие россыпей, охарактеризованы условия их формирования и закономерности размещения в структурах земной коры. Авторы дают подробное описание важнейших россыпных месторождений, выделяя промышленные типы каждой сырьевой группы и минерального класса. Особое внимание акцентировано на описании конкретных месторождений, играющих ведущую роль в структуре запасов, в ресурсах и в добыче данного вида сырья из россыпей. Авторы рассматривают перспективы на будущее, с учетом прогнозируемой потребности в новых видах минерального сырья, освоения новых территорий и внедрения новых технологий разведки, добычи и обогащения рудных песков.

Выход этой книги в свет приурочен к 85-летию со дня рождения академика Николая Александровича Шило — признанного лидера отечественной научной школы геологии россыпей. Развивая идеи Н.А.Шило, авторы книги пришли к выводу, что россыпи как класс месторождений полезных ископаемых еще долгие годы могут служить сырьевым источником.

История науки

**В.Е.Хаин.** ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ ГЕОЛОГА. М.: ГЕОС, 1997. 188 с.

В предисловии автор пишет: «Достигнув почтенного 80-летнего возраста и более 60 лет проработав в геологии, я пришел к заключению, что мне следует поделиться увиденным и услышанным за эти годы со своими более молодыми коллегами». В этих мемуарах наш выдающийся современ-

ник академик В.Е.Жаин рассказывает не столько о себе, сколько о замечательных ученых, с которыми ему довелось вместе работать, учиться, а порой и дружить. Лишь первая глава носит автобиографический характер; остальные посвящены Н.Б.Вассоевичу, В.В.Белоусову, А.А.Богданову, М.В.Муратову, В.В.Тихомирову, Л.П.Зоненшайну, А.Б.Ронову, французам (Ю.А. и Б.А. Шубертам) и ряду представителей грузинской геологической школы.

В заключение автор высказывает некоторые личные соображения относительно классификации ученых по их психологическим типам (выделяя трудяг-средняков, ученых-эрудитов и новаторов), приводит конкретные примеры, а также размышляет об истории отечественной Академии наук.

Книга представляет интерес как для специалистов, так и для широкого круга читателей, увлекающихся историей науки и ее судьбами.

## Геология

**ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ФЕНОМЕНЫ.** М.: Наука, 1997. 254 с.

Сборник статей посвящен 80-летию со дня рождения академика Юрия Михайловича Пушаровского, хорошо известного геологам и тектонистам России, ближнего и дальнего зарубежья. Авторами сборника стали его друзья, соратники и ученики из Геологического института РАН и из других научных коллективов России.

В последние годы Ю.М.Пушаровский активно занимается фундаментальными проблемами тектоники Мирового океана, полагая, что именно здесь можно найти принципиальные решения, которые приведут ученых к новой геологической парадигме, призванной сменить теорию тектоники литосферных плит. Как следует из его работ, в основу новой концепции в качестве составных элементов войдут представления о нелинейных про-

цессах в тектонике и в геологии вообще; об асимметрии Земли и латеральной неоднородности не только в верхних уровнях литосферы, но и в более глубоких ее оболочках; о физико-химической и энергетической открытости и потенциальной неравномерности геологических систем во всех оболочках Земли; о тектонической расслоенности геосфер на самых различных уровнях и об истории становления структуры современного Мирового океана.

В книге представлены работы, в которых анализируются нетривиальные тектонические и геодинамические явления, которые могут составить часть фактологической основы новой геологической парадигмы. В сборнике приняли участие такие авторы, как Е.С.Базилевская, С.Д.Соколов, Ю.Н.Разницын, А.С.Перфильев и др.

Все исследования, относящиеся к океанской геологии, выполнены при поддержке Госкомитета по науке и технологиям.

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

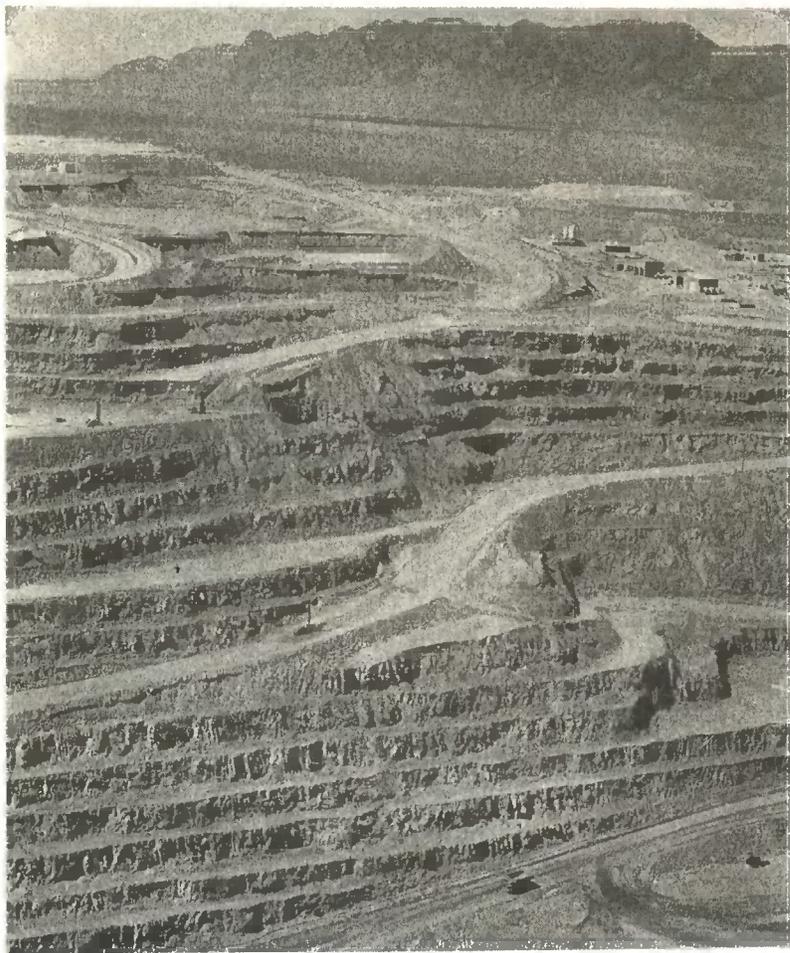
Адрес редакции:  
117810, Москва, ГСП-1  
Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-23-33  
Факс: (095) 238-26-33  
Справки:  
\http:\\www.ripon.net\\informag

Подписано в печать 23.01.98  
Бумага типографская № 1  
Офсетная печать  
Усл. печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,1  
Заказ 2540

Ордена Трудового Красного  
Знамени Чеховский  
полиграфический комбинат  
Комитета Российской  
Федерации по печати  
142300, г. Чехов  
Московской области  
Тел.: (272) 71-336

# ПРИРОДА

## 3<sup>98</sup>



Чисто экономический факт — десятикратный рост цены на золото — имел колоссальные последствия для геологии. Прежде всего он изменил технологическое мышление. Если раньше стремились к максимальному извлечению металла из руд, доводя его до 93—96%, то при обработке большой рудной массы стало выгоднее мириться с потерей части золота, извлекая всего 65—70%, но зато значительно удешевляя весь технологический цикл. Так появилась технология «кучного выщелачивания», рассчитанная на разработку крупнообъемных месторождений с низкими содержаниями металла.

**Константинов М. М. РЕВОЛЮЦИЯ В ГЕОЛОГИИ ЗОЛОТА**

