

# ПРИРОДА

2001 5



**В НОМЕРЕ:****3 Зверев В.П.****Круговороты подземных вод в земной коре**

*Вода под землей присутствует не только в жидкой форме – часть ее адсорбируется горными породами, входит в кристаллическую решетку минералов и участвует в постоянном круговороте.*

**11 Плотников П.В., Шуршалов Л.В.****Чем чреват град из космоса?**

*Стоит ли бомбить подлетающий к Земле опасный астероид? Угроза встречи с огромным облаком мелких, но быстрых частиц может оказаться для жизни на планете еще серьезней.*

**19 Шишков А.В., Богачева Е.Н.****Структура поверхности биополимеров исследуется тритиевой планиграфией**

*Технически несложный метод позволяет «рассмотреть» поверхность биомолекул, их контакты в комплексах и прояснить механизмы взаимодействия отдельных элементов.*

**Научные сообщения****27 Сурдин В.Г.****Молодой коричневый карлик****Комаров В.Н.****Ринхолиты – знакомые и неожиданные (29)****Чесноков Н.И.****Волк в Йеллоустоуне (37)****Калейдоскоп****26**

Гибель миа: не вымирание, а блицкриг (26) – Акустическая фокусировка усилила землетрясение (32). – Ла-Нинья: похолодание и обилие осадков (32). – Война с астронавтами из-за белок (32). – Бандай-сан опять возмущается (39). – Мияко предупреждает о «намерениях» (47). – Защитники китов – против технократов (66). – Степень загрязненности воздуха и смертность (66). – Сейсмические «всплески» 2000-го года (67). – Африка, уносимая ветрами (67). – 200 лет изучения астероидов (68).

**Красная книга****33 Шутова О.И.****Кровавая трагедия в заповеднике****40 Медников Б.М., Шубина Е.А., Мельникова М.Н.****Молекулярные механизмы генетической изоляции**

*В молекуле ДНК имеются многократно повторяющиеся участки, функция которых неизвестна. Сейчас выясняется, что они играют роль регуляторов в межвидовой гибридизации организмов.*

**Вести из экспедиций****48 Приходько В.Е.****В планетарном саду кактусов****53 Силкин Б.И.****Не переоценить сокровища Нептуна****Заметки и наблюдения****55 Несис К.Н.****Кто уберет опавшие листья? Краб!****Булавинцев В.И.****Малый дятел (57)****60 Кароль И.Л., Киселев А.А.****Нужно ли менять «Боинг» и Ту на ковер-самолет?**

*Изучение последствий загрязнения атмосферы продуктами сгорания авиационных двигателей было и остается одной из важных проблем защиты окружающей среды.*

**Возвращение****69 НЕЗНАКОМЫЙ КОСТИЦЫН****«Говорить мне не с кем»**

*Из воспоминаний В.А.Костицына. (Окончание)*

**Бялко А.В.****Нерукотворный памятник Костицыну (78)****Новости науки****80**

Получены свидетельства существования горизонта событий. **Вибе Д.З. (80).** – Как стать звездой (80). – Осадочные породы на Марсе (81). – Новый мощный синхротрон во Франции (82). – Новый конкурент алмаза (82). – Атмосфера покачивает Землю (82). – Половой диморфизм колибри (83). – Вымерший вид рыб помог систематикам (83). – Используемые тесты неэффективны (84). – «Гастрономическая верность» привела к открытию (84). – Как сократить содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере? (85). – Следы первоамериканца под водой (85). – Окаменевшее сердце динозавра (86). – Где была «колыбель пахаря»? (86).

**Коротко (18)****Рецензии****88 Шолпо В.Н.****Геологи с Пыжевского, 7****Новые книги****90****Встречи с забытым****92 Игнатьев С.М.****Удивительный морской водоем**

## CONTENTS:

### 3 Zverev V.P.

#### Groundwater Circulation in the Crust

*Beneath the Earth's surface, water is present not only in liquid form: part of it is adsorbed by rocks, is incorporated in the crystal lattice of minerals, and is in constant circulation.*

### 11 Plotnikov P.V. and Shurshalov L.V.

#### What Threat Can We Expect from a Hail of Cosmic Debris?

*Should a hazardous Earth-bound asteroid be bombed? An encounter with an enormous cloud of small but fast particles can pose an even more serious threat to life on our planet.*

### 19 Shishkov A.V. and Bogacheva E.N.

#### Biopolymer Surface Structure Studied by Tritium Planigraphy

*By this technically unsophisticated method, it is possible to examine the surface of biomolecules and their contacts in complexes, as well as to elucidate the mechanisms for interaction between some individual elements.*

## Scientific Communications

### 27 Surdin V.G.

#### A Young Brown Dwarf

Komarov V.N.

#### Rhyncholites: Familiar and Unexpected (29)

Chesnokov N.I.

#### Wolf in the Yellowstone National Park (37)

## Kaleidoscope

### 32

The Death of the Moas: A «blitzkrieg» Rather than Extinction (26) – Acoustic Focusing Enhanced an Earthquake (32) – La Nica: A Cool Period with a Lot of Precipitation (32). – War with Astronomers because of Squirrels (32). – Bandai San is Piping up Again (39). – Miyako Giving a Warning of Its Intentions (47). – Protectors of Whales against Technocrats (66). – The Degree of Air Pollution and Mortality (66). – Seismic «Bursts» in the Year 2000 (67). – Wind-blown Africa (67). – 200 Years of Asteroid Research (68).

## Red Data Book

### 33 Shutova O.I.

#### A Bloody Tragedy in a Nature Reserve

### 40 Mednikov B.M., Shubina E.A., and Melnikova M.N.

#### Molecular Mechanisms of Genetic Isolation

*A DNA molecule contains some recurrent parts whose function is unknown. It is now coming to light that they act as regulators in interspecific hybridization of organisms.*

## News From Expeditions

### 48 Prikhodko V.E.

#### In the Planetary Garden of Cactuses

### 53 Silkin B.I.

#### Neptune Treasures Should not be Overestimated

## Notes and Observations

### 55 Nesis K.N.

#### Who Will Remove Fallen Leaves? A Crab!

Bulavintsev V.I.

#### Lesser Woodpecker (57)

### 60 Karol I.L. and Kiselev A.A.

#### Should Boeings and Tu's Be Changed for Flying Carpets?

*Study of the effects of atmospheric pollution caused by aircraft engine combustion products remains one of the major problems in environmental protection.*

## Comeback

### 69 UNFAMILIAR KOSTITSYN

#### «I Have Nobody to Talk to»

From V.A. Kostitsyn's Reminiscences (Concluded)

Byalko A.V.

#### A Monument to Kostitsyn not Built by Hands (78)

## Science News

### 80

Evidence for the Existence of the Event Horizon Obtained. Wiebe D.S. (80). – How to Become a Star? (80). – Sedimentary Rocks on Mars (81). – A New Powerful Synchrotron in France (82). – A New Competitor of Diamond (82). – The Atmosphere Gently Rocks the Earth (82). – Sexual Dimorphism in Hummingbirds (83). – The Extinct Fish Species Aided Systematics (83). – The Tests Currently Used Are Inefficient (84). – Gastronomical Loyalty Led to a Discovery (84). – How to Reduce CO<sub>2</sub> Content in the Atmosphere? (85). – Artefacts of the First Americans Are under Water (85). – Dinosaur's Petrified Heart (86). – Where Was the «Ploughman Cradle»? (86).  
In Brief (18)

## Book reviews

### 88 Sholpo V.N.

#### Geologists from 7 Pyzhevskii Lane

## New Books

### 90

## Encounters with the Forgotten

### 92 Ignatyev S.M.

#### An Amazing Sea



# Круговороты подземных вод в земной коре

В.П.Зверев

**П**одземные воды присутствуют в земной коре не только в жидкой и газообразной формах, но и адсорбируются горными породами, а также входят в кристаллическую решетку многих минералов, участвуя одновременно в постоянных круговоротах.

## Количественная оценка масс воды

Прежде чем перейти к количественной оценке масс подземных вод, участвующих в круговоротах, необходимо достаточно надежно определить их количество в земной коре.

Наиболее достоверно оценена масса воды, сосредоточенной на поверхности Земли —  $1.3 \cdot 10^{24}$  г; основная ее часть образует Мировой океан. Менее точно оценивается количество воды в земной коре, хотя попыток получить соответствующее значение предпринималось немало. Постарались сделать это и мы.

Количество химически связанной воды (структурной), содержащейся в осадочном чехле и других оболочках земной коры, принято по дан-



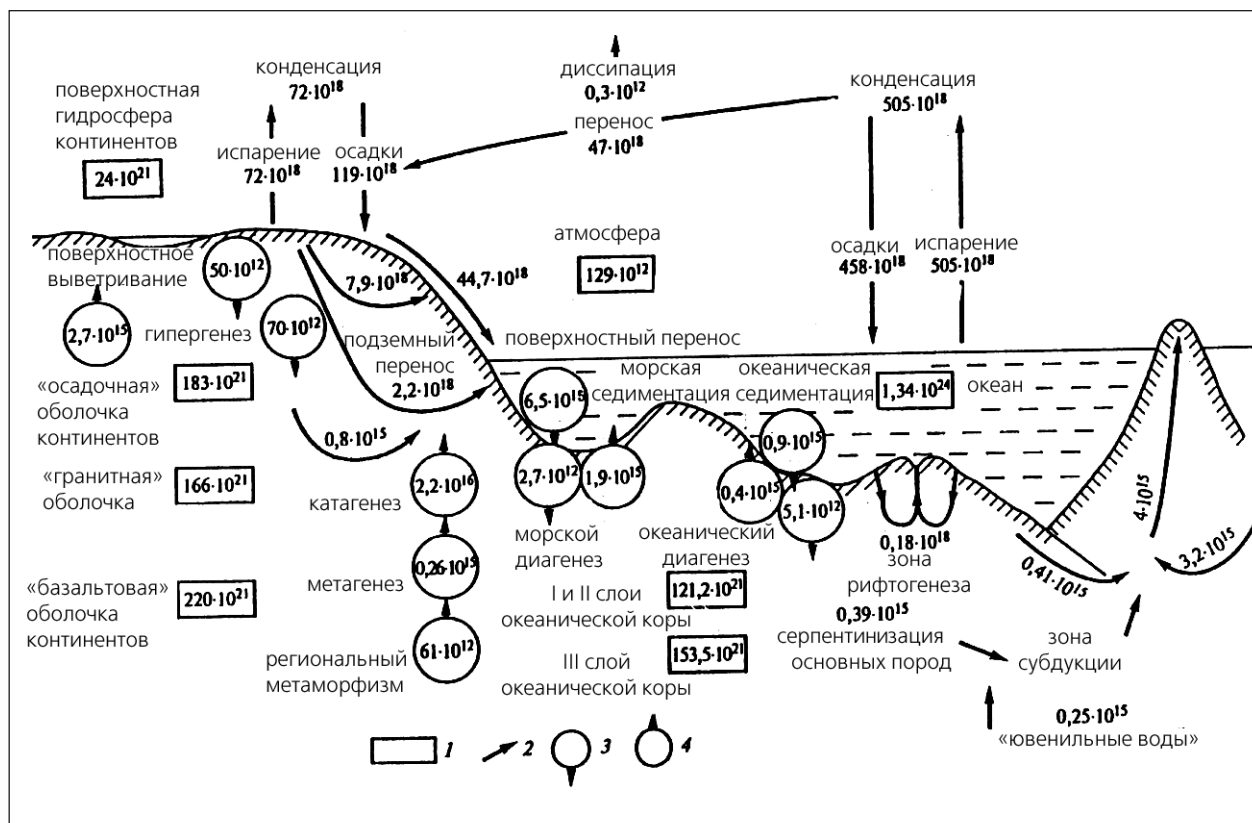
*Валентин Петрович Зверев, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеоэкологии Института геоэкологии РАН. Область научных интересов — геохимия природных вод, роль подземных вод в развитии геологических процессов. Заслуженный деятель науки Российской Федерации.*

ных наиболее полной и обстоятельной сводки А.Б.Ронова, А.А.Ярошевского [1, 2]. Массы свободных и физически связанных вод (адсорбированных) рассчитаны, исходя из условия полного заполнения ими порового пространства горных пород. Был использован обширный фактический материал, полученный при бурении на континентах и в океане. На основании анализа лабораторных исследований кернового материала определены особенности изменения с глубиной пористости основных типов осадоч-

ных пород в пределах платформенных и геосинклинальных блоков континентов, осадков субконтинентальной и океанической коры. Всего в осадочной оболочке земной коры содержится, по нашим данным,  $3.0 \cdot 10^{23}$  г, т.е. примерно в 4.5 раза меньше, чем в современном океане.

Более сложна оценка количества воды в гранитной и базальтовой оболочках. Для решения проблемы были привлечены результаты теоретических исследований А.Б.Ронова, Ф.А.Летникова и У.Файфа. Общее количество подзем-

© В.П.Зверев



Современный ориентировочный баланс природных вод литосферы. 1 — масса природных вод, содержащихся в отдельных звеньях гидросферы и оболочках земной коры; 2 — перенос свободных природных вод, г/год; 3 — переход природных вод из свободного в связанное состояние, г/год; 4 — переход природных вод из связанного в свободное состояние, г/год.

ных вод в этих оболочках примерно  $4,3 \cdot 10^{23}$  г.

Суммарное количество всех типов природных вод, содержащихся в земной коре, по нашим данным, составляет  $7,3 \cdot 10^{23}$  г, около 50% от массы поверхностной гидросферы (табл.1).

### Глобальные потоки подземных вод

Подземные воды представляют собой подвижную фазу земной коры и находятся в постоянном круговороте.

Сведения о глобальном круговороте природных вод для поверхностных циклов, включая массоперенос подземных вод в верхней гидродинамической зоне активного водообме-

на, уже давно вошли в школьные учебники. В то же время происходят круговороты вод глубоких горизонтов земной коры. Оценивая массоперенос этих вод, мы рассматривали формы их существования, т.е. связь между жидкой и твердой фазами (подземными водами и горными породами), а также влияние давления и температуры, которые ограничивают существование таких связей. Выделяются три основных типа массопереноса подземных вод: гидрогеологический, реализуемый свободными потоками; литогенетический, определяемый физически связанной водой, и геологический, обусловленный переносом и выделением воды, входящей в кристаллическую решетку минералов [3].

Гидрогеологический цикл круговорота представляет собой передвижение свободных вод от области питания к местам их разгрузки на земной поверхности. В нем выделяются потоки зоны активного водообмена, связанные с верхними частями земной коры и дренируемые местной эрозионной сетью, и потоки глубокого замедленного водообмена, разгрузка которых осуществляется в наиболее врезанных долинах крупных рек, котловинах озер или в прибрежных частях морских бассейнов. Масса вод, участвующих в гидрогеологическом цикле, подсчитана с хорошей точностью и составляет для верхней зоны  $9,6 \cdot 10^{18}$  г/год, и нижней —  $0,6 \cdot 10^{18}$  (табл.2).

Таблица 1

## Количество воды в земной коре

Тип земной коры	Слой	Горная порода, масса, $10^{24}$ г	Химически связанные воды		Средняя пористость, %	Свободные воды, $10^{20}$ г	Общая масса воды, $10^{20}$ г
			содержание, мас. %	масса, $10^{20}$ г			
Континентальный							
	осадочный	1.8	2.9	555.5	10.7	811.8	1367.3
	гранитный	6.83	1.46	997.2	1.5	378.0	1375.2
	базальтовый	9.39	1.40	1314.6	0.72	426.3	1740.9
	в целом	18.1	1.6	2867.3	2.6	4483.4	
Субконтинентальный							
	осадочный	0.4	2.87	114.8	21.6	345.5	460.3
	гранитный	1.4	1.5	205.7	1.5	78.0	283.7
	базальтовый	2.5	1.4	348.6	0.7	113.0	461.6
	в целом	4.3	1.6	669.1	3.5	536.5	1205.6
Океанический							
	осадочный (I)	0.2	4.95	94.1	46.2	554.4	648.5
	вулканогенно-осадочный (II)	1.2	2.1	210.0	9.8	354.0	564.0
	базальтовый (III)	4.90	0.7	338.1	0.3	65.2	403.3
	в целом	6.1	1.05	642.2	4.41	973.6	1615.8
Земная кора							
	осадочный	3.5	2.8	974.4	14.8	2065.7	3040.1
	гранитный	8.2	1.5	1202.9	1.5	456.0	1658.9
	базальтовый	16.8	1.2	2001.3	0.6	604.5	2605.8
	в целом	28.5	1.5	4178.6	3.1	3126.2	7304.3

*Литогенетический* цикл круговорота подземных вод заключается в физическом связывании воды в ходе седиментации, последующем переносе ее вместе с породами в более глубокие части осадочных бассейнов, где она при достижении определенных температур и давлений постепенно переходит частично в свободное, а частично в химически связанное состояние. Существуют две основные ветви литогенетических массопотоков: континентальная и океаническая.

При погружении и уплотнении пород в осадочных бассейнах континентов физически связанная вода переходит в свободное состояние. Интенсивность этого процесса оценивается в  $4.4 \cdot 10^{15}$  г/год. Большая часть вод поступает в водоносные горизонты и в конечном итоге попадает

на земную поверхность. Превращение связанных вод в свободные обуславливает возникновение зон аномально высоких пластовых давлений, в которых часто формируются нефтяные залежи. В случае превышения гидростатического давления над литостатическим (т.е. прочностью) горные породы трескаются и воды внедряются в вышележащие толщи. В дальнейшем происходит их разгрузка на земной поверхности или в морских акваториях — в виде грязевого вулканизма.

В пределах океанического блока земной коры физически связанные воды осадочных пород (I сейсмического слоя) в процессе дрейфа литосферных плит и последующей субдукции опускаются с вмещающими их породами под континентальную кору. Образуются островные дуги и активные

окраины континентов, где в конечном итоге вода также переходит в свободное состояние, принимая участие в формировании гидросферы этих активных структур. Интенсивность выделения свободных вод оценена (исходя из содержания в породах связанной воды и максимального времени их существования ~200 млн лет) в  $0.4 \cdot 10^{15}$  г/год.

*Геологический* цикл массопереноса подземных вод характеризуется последовательными процессами гидратации минералов и по мере погружения горных пород последующей их дегидратацией в ходе регионального метаморфизма.

На континентах вода связана с гранитно-метаморфической оболочкой. Направленные вниз физически связанные воды, выделяющиеся в осадочных бассейнах, — основной

**Таблица 2**

**Основные массопотоки подземных вод в земной коре**

Массопотоки	Толща горных пород земной коры, вовлекаемых в круговорот	Преобладающее состояние подземных вод	Масса горной породы, вовлекаемой в круговорот, $10^{21}$ г	Масса воды, содержащейся в горных породах, $10^{21}$ г	Интенсивность водообмена или выделения в свободное состояние, г/год
Гидрогеологический					
	зоны активного водообмена континентального блока земной коры	свободное	0.04	0.0025	$9.7 \cdot 10^{18}$
	зоны замедленного водообмена континентального блока земной коры (песчаники, карбонаты)		1.1	0.065	$0.5 \cdot 10^{15}$
Литогенетический					
	осадочных континентального и субконтинентального блоков земной коры (глины и глинистые сланцы)	физически связанное	1.1	0.05	$4.4 \cdot 10^{15}$
	осадочных I сейсмического слоя океанического блока земной коры		0.18	0.098	$0.4 \cdot 10^{15}$
Геологический					
	гранитно-метаморфической оболочки континентального блока земной коры	химически связанное	8.1	0.2	$0.4 \cdot 10^{15}$
	II и III сейсмических слоев океанического блока земной коры		5.96	0.05	$0.4 \cdot 10^{15}$
Гидротермальный					
	океанических рифтов	свободное, пароводяная смесь	-	-	$0.2 \cdot 10^{18}$
	островных дуг и активных континентальных окраин		-	-	$4.0 \cdot 10^{15}$

источник гидратации пород на ранних этапах метаморфизма. Более глубокие горизонты характеризуются ростом давления и температуры и соответственно более высокими стадиями метаморфизма. В этих условиях химически связанные воды переходят в свободное состояние. Интенсивность этого процесса невелика и составляет примерно  $0.04 \cdot 10^{15}$  г/год. Формирование зон обводненных разуплотненных пород, вскрытых Кольской сверхглубокой скважиной на глубине 6–8 км в пределах Балтийского щита, по-видимому, связано с подобными процессами.

Более динамичен геологический цикл массопереноса подземных вод с вулканогенно-осадочными и базальтовыми породами (II и III сейсмических слоев) океанической коры. Он характеризуется

процессами гидратации основных пород в ходе рифтогенеза, переносом гидратированных пород в результате дрейфа литосферных плит и последующей дегидратацией при региональном метаморфизме в зонах погружения под континентальную кору. Масса выделяющихся при этом свободных вод (исходя из содержания химически связанной воды в породах океанической коры и максимального времени их существования ~200 млн лет) оценена в  $0.4 \cdot 10^{15}$  г/год. Образующиеся в результате этого высокотемпературные флюиды — один из источников питания гидротерм островных дуг и активных континентальных окраин и одна из действующих сил развития вулканических процессов. Масса ежегодно образующихся при извержении пород  $\sim 6 \cdot 10^{15}$  г/год, среднее со-

держание воды в магме примерно 3%; при грубом подсчете обнаруживаем, что в вулканическом процессе принимает участие  $\sim 0.2 \cdot 10^{15}$  г/год воды.

Особенности фазовых переходов воды при высоких температурах и трещиноватость пород приводят к формированию в зонах островных дуг и активных континентальных окраин гидротермальных конвективных ячеек, нисходящее звено которых — холодные океанические или метеорные воды (атмосферные осадки). Восходящее же звено ячеек складывается из трех основных источников: физически и химически связанных вод, выделяющихся из осадочных и вулканических пород океанического блока земной коры, а также восходящего потока нагретых подземных «бывших» метеорных вод. Суммарный восходящий

гидротермальный массопоток на основании данных о конвективном выносе тепла подобными системами оценен в  $4 \cdot 10^{15}$  г/год. Примерно 15% гидротермального массопотока ( $0.6 \cdot 10^{15}$  г/год) приходится на долю освобождающихся связанных вод, а остальные 85% ( $3.4 \cdot 10^{15}$  г/год) — на долю нисходящей и восходящей ветвей гидротермальных вод метеорного происхождения.

Наконец, необходимо кратко остановиться на массопотоке воды из мантии. Мантийный флюид можно рассматривать как смесь водородного и углеводородного компонентов. При миграции, связанной с восходящей ветвью конвекции вещества мантии, происходит окисление его составляющих, что в конечном итоге приводит к синтезу воды, масса которой приблизительно оценивается в  $0.25 \cdot 10^{15}$  г/год.

Таким образом, количественная оценка структуры основных массопотоков подземных вод в земной коре показывает, что среди них доминируют воды, формирующие гидрогеологический цикл круговорота. Его массопотоки более чем на три-четыре порядка превышают массы физически связанных (адсорбированных) вод, выделяющихся в ходе литогенетического цикла, и на четыре-пять порядков — массы химически связанных вод (входящих в структуру минералов), освобождающихся в процессе геологического цикла круговорота.

Вместе с тем переход таких вод в свободное состояние, реализуемый в толще земной коры, имеет исключительно большое геологическое значение. С подобными процессами связаны существенные изменения вещества горных пород, формирование месторождений полезных ископаемых (в том числе и горючих), а также развитие ряда эндогенных, часто катастрофических, явлений.

## Влияние подземных вод на изменение уровня Каспия

В этой части статьи мы попытаемся показать, как полученные довольно общие данные можно использовать при решении конкретных вопросов.

Наиболее подходящей моделью оказался Каспийский осадочный бассейн. Он привлекает внимание, с одной стороны, как крупнейшая нефтегазоносная провинция, а с другой — в связи с резким изменением уровня моря, произошедшего на рубеже 70—80-х годов. Значительное повышение уровня Каспия стало большим сюрпризом для гидрологов, которые пытались объяснить этот феномен изменением водного баланса Земли. Геологи же, подключившиеся к решению проблемы, связывают это явление с особенностями тектонического развития Каспийской впадины. Так Н.А.Шило и др. высказали предположение о связи уровня Каспия с напряжениями в земной коре: уходом воды из его акватории в недра при растяжении и поступлением — при сжатии.

Впадина Каспийского моря (территория, занятая акваторией моря) вытянута в меридиональном направлении. Длина ее около 1200 км, а ширина — около 320 км. Общая масса воды в Каспийском море достигает  $0.8 \cdot 10^{20}$  г, а средняя глубина — 160 м.

На территории, занимаемой современным Каспием, выделяются три основных геолого-структурных элемента: в северной части — юг Прикаспийской синеклизы, в центральной — Скифско-Туранская плита, на западе и юге — зона альпийской складчатости. Последняя в свою очередь делится на Северо-Западную, примыкающую к восточной оконечности Большого Кавказа, и Южную, представляющую

собой крупную мегавпадину на базальтовом основании.

Это районирование и легло в основу приближенной оценки масс подземных вод в осадочном чехле Каспийского бассейна. Мощность пород в нем колеблется от 5—6 км в зоне Скифско-Туранской плиты до 30 км в Южной мегавпадине. За нижнюю границу осадочных отложений приняты разновозрастные породы консолидированного фундамента.

Для количественных расчетов построена приближенная пространственная модель Каспийского осадочного бассейна. По ней были оценены средние мощности, объем и масса пород осадочного чехла для главных геолого-структурных элементов.

Для расчета количества воды в осадочном чехле Каспия использовалась методика, о которой мы рассказали выше. Большинство параметров (особенно значение пористости горных пород различных типов) получены по результатам бурения в пределах Дагестана, т.е. в непосредственной близости от Каспия. Из довольно приближенных расчетов следует, что в осадочной толще Каспийского бассейна содержится примерно  $11.9 \cdot 10^{20}$  г связанных и свободных подземных вод, из которых на последние приходится  $7.4 \cdot 10^{20}$  г, что практически на порядок превышает массу воды Каспийского моря ( $0.8 \cdot 10^{20}$  г). Причем подавляющая часть этих вод ( $5.3 \cdot 10^{20}$  г) сосредоточена в Южно-Каспийской впадине [4].

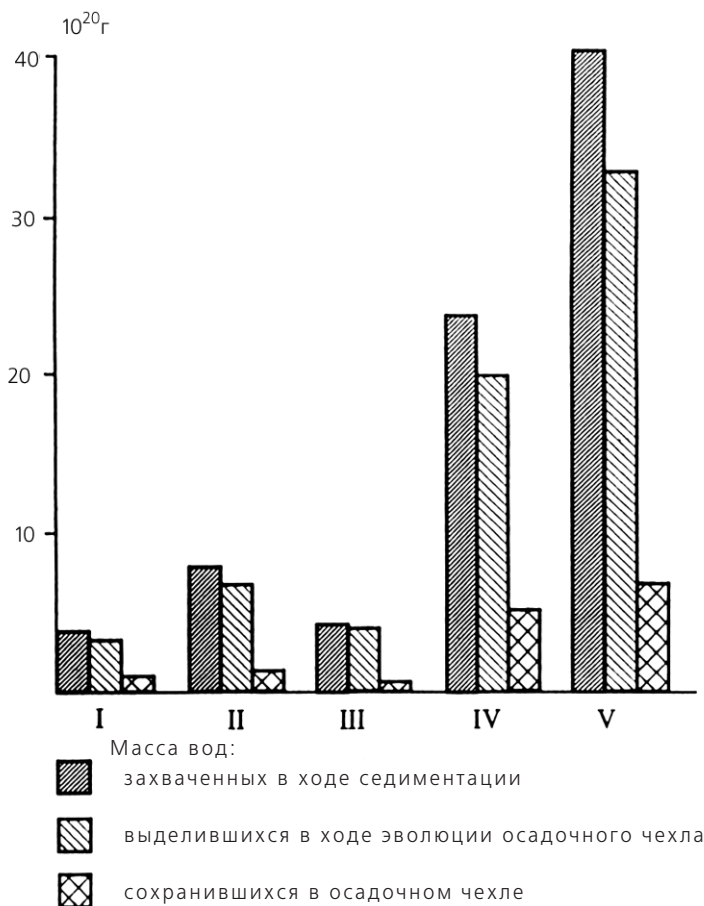
Геологическая история Каспийской впадины тесным образом связана с развитием океанических и морских бассейнов, и в первую очередь Тетиса. Эволюция Южного Каспия была сопряжена с морской седиментацией [5]. В Среднем и Северном Каспии же существовали отдельные перерывы в морском



**Таблица 3**

**Баланс подземных вод осадочного чехла Каспийской впадины**

	Прикаспийская синеклиза	Скифско-Туранская плита	Область альпийской складчатости		Весь бассейн
			Среднего Каспия	Южного Каспия	
Площадь, км <sup>2</sup>	43200	145600	41600	143600	374000
Средняя мощность осадочного чехла, км	10.5	6.0	12.5	21.5	
Объем осадочных пород, 10 <sup>21</sup> см <sup>3</sup>	0.45	0.9	0.5	3.1	4.9
Масса осадочных пород, 10 <sup>21</sup> г	1.1	2.2	1.3	7.7	12.3
Масса воды, захваченной при седиментации, 10 <sup>20</sup> г	3.8	7.75	4.3	24.9	40.7
Масса свободных и физически связанных вод, содержащихся в осадочном чехле, 10 <sup>20</sup> г	0.5	1.3	0.3	5.3	7.4
Масса свободных и физически связанных вод, выделившихся из осадочного чехла, 10 <sup>20</sup> г	3.2	6.5	4.0	19.6	33.3



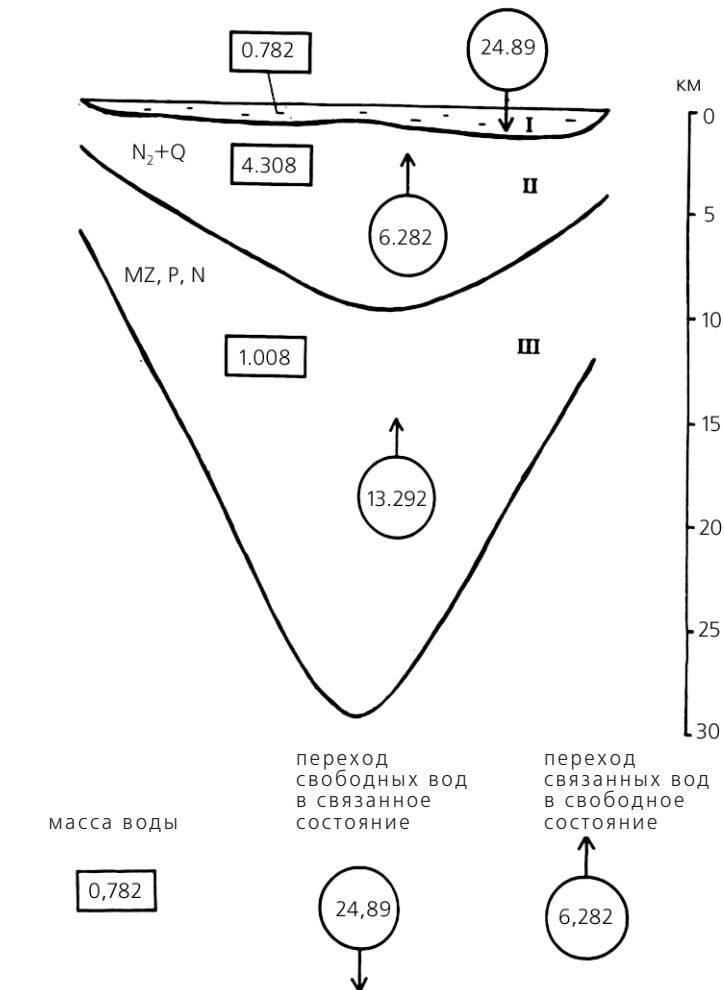
*Баланс подземных вод осадочного чехла Каспийской впадины. Римскими цифрами обозначены: I – Прикаспийская синеклиза; II – Туранская плита; III – область альпийской складчатости Среднего Каспия; IV – область альпийской складчатости Южного Каспия; V – Каспийская впадина.*

осадконакоплении. Однако они не сыграли значительной роли в формировании осадочной толщи, и поэтому для наших расчетов можно допустить, что основная масса осадочного чехла формировалась в присутствии природных поверхностных вод. Осаждаясь, минеральное вещество захватывает значительное количество физически связанных вод [6].

За время существования впадины осадочными породами при седиментации захвачено более  $40.7 \cdot 10^{20}$  г свободных и физически связанных вод. Из них  $7.4 \cdot 10^{20}$  г сохранились до настоящего времени. Большая же часть ( $33.3 \cdot 10^{20}$  г) в ходе эволюции впадины выделилась и поступила обратно в океанические и морские акватории (табл.3). В пределах Северного и Среднего Каспия составляющие баланса невелики и сравнительно близки друг другу. Резко выделяется Южный Каспий, на долю которого приходится примерно 2/3 массы подземных вод. В осадочной толще Южной мегавпадины Каспия за 185 млн лет эволюции было аккумуляровано  $24.9 \cdot 10^{20}$  г свободных и физически связанных подземных вод. В процессе развития бассейна  $19.6 \cdot 10^{20}$  г возвращено обратно, причем  $6.2 \cdot 10^{20}$  г из них приходится на последние 5 млн лет.

Если распределить всю массу воды, выделившуюся из верхнего этажа осадочной толщи Южного Каспия, на площади современного Каспия, то за 5 млн лет должен был образоваться слой мощностью 1.68 км. Расчет носит, конечно, условный характер, так как в действительности в течение рассматриваемого отрезка времени Каспий имел иную, чем в современную эпоху, площадь акватории, иногда большую, а иногда меньшую.

Попробуем также оценить суммарный подъем уровня Каспия за то же среднеплиоцен-



Баланс подземных вод осадочного чехла Южной мегавпадины Каспийского бассейна,  $10^{20}$  г. Римскими цифрами обозначены: I — Каспийское море, II — плиоцен-четвертичный осадочный комплекс, III — доплиоценовый осадочный комплекс.

четвертичное время. Для этого были использованы кривые изменения уровня Каспия, построенные Ю.Г.Леоновым с коллегами по сейсмостратиграфическим данным [7]. Было зафиксировано 23 достаточно длительных этапа подъема уровня продолжительностью от 20 до 600 тыс. лет, с амплитудой от 10 до 580 м.

Суммарная величина всех подъемов уровня Каспия за 5 млн лет равна 1.8 км, т.е. достаточно близка к слою под-

земных вод, выделившихся из среднеплиоцен-четвертичных отложений только Южной впадины за тот же период.

Но необходимо иметь в виду несовпадение акваторий бассейна Каспия в прошлом и настоящем. Кроме того, источником свободных и связанных вод осадочного чехла Каспия могут быть и потоки, часть которых захоранивается в процессе эволюции осадочного бассейна и таким образом уже входит в водный ба-

ланс моря. И наконец, рассматриваемые колебания уровня имеют макрохарактер, а многочисленные микроколебания, длительностью от нескольких до десятков лет, зависящие не только от климатических, но и других факторов, в том числе и разгрузки подземных вод осадочного чехла, в расчетах не учитываются.

Если допустить существование общепринятого седиментогенного режима в Каспийском бассейне, то средние темпы выделения подземных вод из верхнего этажа осадочной толщи Южного Каспия за последние 5 млн лет должны составить  $0.1 \cdot 10^{15}$  г/год. Однако как недавно показал В.И.Дюнин, в современных осадочных бассейнах вертикальные массопотоки подземных вод преобладают над горизонтальными, что мы, по видимому, и наблюдаем в пределах Каспия.

Высокой скоростью осадконакопления в Южной котловине Каспия объясняется разуплотнение глинистых пород уже на сравнительно не-

больших (~2 км) глубинах и формирование аномально высоких пластовых давлений, создающих своеобразный гидродинамический режим осадочной толщи. В осадочном чехле Каспия в отличие от других подобных районов зона разуплотнения пород существует и на больших глубинах. Она установлена в Южной котловине на глубинах 7–13 км [8]. Средняя ее мощность ~4 км, а при 10% пористости эта область должна содержать  $\sim 0.6 \cdot 10^{20}$  г воды, что близко к массе воды в современном Каспии. По-видимому, это и есть тот резерв, который при благоприятных условиях может разгружаться в акваторию Каспия. Масса же этих вод на четыре порядка больше массы воды, определяющей ежегодный подъем (начиная с 1978 г.) моря ( $1.1 \cdot 10^{16}$  г/год).

Какие же выводы можно сделать из приведенных наблюдений и расчетов? Подземные воды, выделяющиеся из осадочного чехла Южного Каспия, вносят определенный вклад в подъем его уровня. Но скорее всего они только

одна из многих составляющих. Полностью объяснить подъем уровня в течение длительного времени они все же не могут.

Подводя итог всему вышесказанному, отметим, что масса подземных вод в земной коре достаточно велика, и они с разной скоростью участвуют в постоянном круговороте. Обычно в научной и особенно научно-популярной литературе рассматривают круговорот подземных вод зоны активного водообмена (гидрогеологический в нашей классификации), с которым связаны как проблемы водоснабжения, так и развитие большинства экзогенных геологических процессов. Но оказывается, что не меньшее значение имеют и массопотоки подземных вод более глубоких горизонтов. При определенных тектонических процессах они могут приводить к поступлению значительных масс воды в моря, регулируя (в случае замкнутости последних) их уровень, как это возможно происходит на Каспии. ■

## Литература

1. Ронов А.Б. Осадочные оболочки Земли. М., 1988.
2. Ронов А.Б., Ярошевский А.А. // Геохимия. 1976. №12. С.1763–1795.
3. Зверев В.П. Массопотоки подземной гидросферы. М., 1999.
4. Зверев В.П., Варванина О.Ю., Костикова И.А. // Геоэкология. 1998. №5. С.93–99.
5. Зверев В.П., Костикова И.А. // Геоэкология. 1999. №3. С.260–267.
6. Зверев В.П. Гидрогеохимия осадочного процесса. М., 1993.
7. Леонов Ю.Г., Антипов М.П., Волож Ю.А. и др. // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск, 1998. С.39–57.
8. Гулиев И.С., Павлинова Н.И., Роджанов М.М. // Литология и полезные ископаемые. 1998. №5. С.130–176.



# Чем чреват град из космоса?

П.В.Плотников, Л.В.Шуршалов

Обычный град человеку хорошо знаком. Чаще всего он не представляет никакой опасности. Лишь очень крупные градины размером более 1 см могут нанести некоторый ущерб: пробить непрочную кровлю, повредить посевы, ранить животное или человека. Отличительная особенность града как явления в том, что оно сводится к одновременному действию громадного числа сравнительно мелких частиц при сравнительно высокой их концентрации. И там, где одна частица могла бы не вызвать никакого эффекта за счет малой вероятности попадания в уязвимое место (подобно не полностью разрушившемуся космическому аппарату, сходящему с орбиты вокруг Земли), громадное число частиц воздействие наверняка окажет. В этом и проявляется эффект большого числа частиц для обычного града — ледяных частиц, образующихся в атмосфере при определенных условиях. А что произойдет, если в атмосферу Земли или другой планеты попадет большое число мелких частиц, не обязательно ледяных, но со столь же высокой концентрацией, влетающих из космоса с большой скоростью?

© П.В.Плотников, Л.В.Шуршалов



**Павел Владимирович Плотников**, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель Тамбовского государственного технического университета. Занимается численными экспериментами в области газовой динамики и метеорной физики.



**Лев Владимирович Шуршалов**, доктор физико-математических наук, ученый секретарь Вычислительного центра РАН. Область научных интересов — математическое моделирование процессов, протекающих при взрывных течениях и взаимодействии крупных космических тел с атмосферой.

## Возможен ли космический град?

Прежде всего возникает вопрос, может ли такое явление вообще иметь место. Влет отдельной частицы в атмосферу представляет собой, очевидно, факт вполне заурядный. Периодически Земля проходит через различные метеорные потоки (Леонид в ноябре, Персеид в августе, Драконид в октяб-

ре и др.). Если Земля оказывается в центральной части таких потоков, ночное небо озаряется вспышками тысяч метеоров. Это так называемые метеорные дожди. Однако и тогда концентрация влетающих частиц остается на много порядков меньше, чем в случае обычного града. Мы же ставим вопрос именно о потоках частиц с высокой концентрацией, как у града.



В естественных условиях такая высокая концентрация возникает при дроблении достаточно крупного метеороида, входящего в атмосферу, когда аэродинамическая нагрузка начинает превышать предел прочности тела. В зависимости от состава и прочностных свойств тело может развалиться при этом или на несколько крупных кусков, или на большое количество мелких. В последнем случае возникает поток частиц, напоминающий град. Не исключена и другая ситуация, когда достаточно хрупкое космическое тело рассыпается на множество мелких осколков под воздействием гравитационных или электромагнитных сил еще до входа в плотные слои атмосферы [1]. Достаточно высокая концентрация мелких частиц бывает также вблизи ядра кометы. И если такое ядро пролетит рядом с планетой, в атмосферу может одновременно вторгнуться громадное число пылинок. Наконец, в последние годы люди осознали, что вероятность столкновения Земли с крупным космическим телом типа астероида или кометы вовсе не равна нулю. Это — так называемая астероидная опасность [2]. Размышляя о том, как предотвратить ее, некоторые авторы предлагают разрушить подлетающее космическое тело ядерным взрывом, т.е. по существу превратить его в конгломерат пыли, крупных и мелких осколков и газа, создав таким образом достаточно концентрированный поток частиц разных размеров. Считается, что столкновение планеты с таким газопылевым облаком менее опасно, чем с одним компактным телом. Как будет показано ниже, это, строго говоря, заблуждение. Во многих случаях опасность от этого только усугубится. Как раз данное обстоятельство и подвигло нас провести исследования взаимодействия

громадного количества мелких частиц с планетной атмосферой [3, 4], т.е. по существу выяснить, как поведет себя град, прилетающий из космоса, какую угрозу он в себе таит.

В этом аспекте интересны именно интенсивные взаимодействия больших объемов мелких частиц (космической пыли) с земной атмосферой, т.е. такие, когда концентрация влетающих частиц столь велика, что они взаимодействуют с атмосферным воздухом коллективным образом, а не индивидуально. Это примерно соответствует концентрации частиц обычных градин.

Сразу стоит отметить важнейшее отличие космического града от земного: скорость влета его частиц в атмосферу чрезвычайно высока. По законам небесной механики диапазон скоростей, с которыми тела могут влетать в земную атмосферу, заключен в пределах от 11,2 км/с до 70 км/с, т.е. от второй космической скорости для Земли до максимальной относительной скорости тел, принадлежащих к Солнечной системе. Соответственно кинетическая энергия и воздействие такого града будут неизмеримо выше. Другое важное отличие в том, что сначала он попадает в очень разреженные слои атмосферы, но затем плотность атмосферы и, естественно, взаимодействие резко нарастают, т.е. налицо сильная зависимость всех характеристик града от высоты над поверхностью планеты.

Возникают интересные вопросы. Сможет ли атмосфера защитить планету от такого града? Как будет происходить взаимодействие громадного количества частиц с атмосферой? Как оно будет зависеть от размеров и формы облака частиц, размеров и концентрации частиц в нем, плотности и состава их вещества, скорости влета в атмосферу? До какой высоты будут опускаться пы-

левые частицы? Полностью они будут испаряться или сгорать в атмосфере, либо их остатки, затормозившись, выпадут на Землю? Будут ли образовываться в атмосфере ударные волны, и какова будет их интенсивность и конфигурация? Будут ли они воздействовать на земную поверхность? Какие при этом будут возникать температуры? Возможно ли и при каких условиях возникновение мощного светового излучения, действующего на поверхность Земли? Каковы другие механизмы опасного воздействия на планету?

## Явление глазами математики

Процессы, сопровождающие влет в атмосферу отдельной небольшой частицы или крупного тела, уже достаточно хорошо изучены — как теоретически, так и инструментально. А вот интенсивное взаимодействие влетающего из космоса облака мелких частиц с земной атмосферой до последнего времени не исследовалось. Поэтому об особенностях возникающих при этом физических процессов ничего не было известно. Рассматриваемое нами явление весьма сложное и носит гипотетический характер — реально наблюдать в природе его пока не приходилось, и в лабораторных условиях его не воспроизвести. Остается изучать его с помощью математического моделирования.

Проанализировать совместное двухфазное движение космических частиц и атмосферного воздуха позволяет хорошо известная модель двух взаимно проникающих континуумов [5]. Один из них — газовая среда, характеризующаяся рядом параметров, и прежде всего — давлением. Второй — среда пылевых частиц, в которой собственное давление отсутствует. Предполага-

ется, что частицы занимают очень малый объем по сравнению с объемом газа. Для частиц космической пыли это так и есть. В расчетах мы изменяли начальную объемную долю частиц  $\alpha_0$  в диапазоне от  $10^{-9}$  до  $10^{-3}$ .

Что выбрать в качестве вещества частиц? Учитывая распространенность ледяных тел в космосе, мы остановились на льде нормальной плотности, и в этом полная схожесть с обычным градом. Для сравнения производимых эффектов рассматривались также частицы из льда пониженной плотности и из железа.

Возможны разнообразные формулировки возникающих задач, что связано с различными предположениями о геометрии течения. В общем случае к планете, обладающей атмосферой, подлетает облако мелких частиц произвольной формы и размера.

С точки зрения расчета наиболее проста одномерная постановка задачи, когда единственная координатная переменная — это высота над поверхностью Земли. Но более реалистично рассматривать эволюцию облака двумерной геометрии с осевой симметрией вокруг вектора скорости прилета. Ниже результаты приводятся именно для такого случая. Здесь частицы, подлетая к Земле по вертикали, первоначально заполняют сферический или другой осесимметричный объем. По мере опускания такого облака характеристики течения двухфазной системы начинают зависеть не только от времени и вертикальной координаты, но и от координаты поперечной — расстояния от оси падения.

Получающаяся система уравнений решалась численно с помощью модификации повышенной точности известного конечно-разностного метода С.К.Годунова. Имеет смысл выделить два крайних случая взаимодействия: локальное,

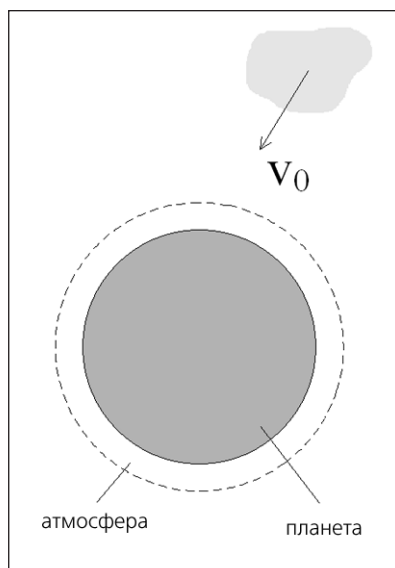


Схема подлета к планете облака мелких частиц ( $v_0$  — скорость облака как целого).

когда облако частиц ничтожно в масштабах планеты и воздействует лишь на ограниченную область атмосферы, и глобальное, когда размер облака сопоставим с диаметром планеты.

### Задачи о локальных взаимодействиях

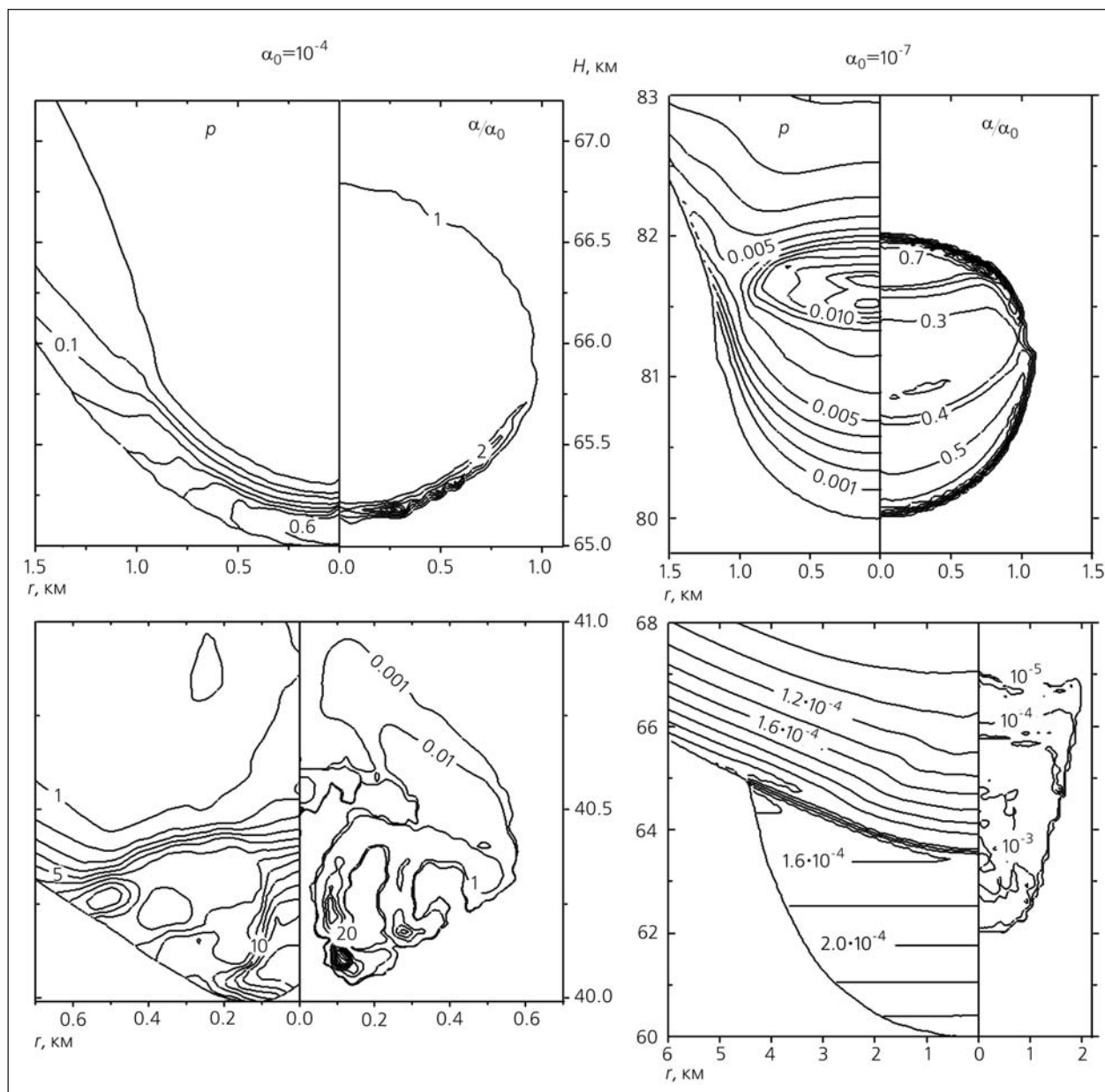
Поведение града «местного значения» анализировалось на примере взаимодействия с атмосферой Земли частиц, занимающих шар диаметром от 0.1 до 10 км.

Качественные особенности течения таковы. При относительно большой концентрации частиц (например, при их начальной объемной доле  $\alpha_0=10^{-4}$ ) самые интенсивные процессы взаимодействия протекают в головной части облака. Там повышается давление, возрастает концентрация частиц, перед облаком образуется мощная ударная волна. В основной части облака взаимодействие вначале слабое: скорости частиц и атмосферного газа быстро вырав-

ниваются, что в дальнейшем способствует гораздо более глубокому их проникновению в атмосферу по сравнению со случаем влета одиночной частицы. Позднее облако приобретает весьма сложную конфигурацию, по существу распадаясь на отдельные фрагменты. Характерно, что в этом случае, как и в других, не происходит увеличения поперечного сечения облака в процессе взаимодействия. Испаряясь, частицы значительно теряют массу (на уровне 30 км остается около 3% от первоначальной), а затем и полностью исчезают. Их пары, сохраняющие высокую скорость, проходят еще значительное расстояние, прежде чем на высоте  $H \approx 20$  км начинается их существенное торможение. После этого ударная волна продолжает свое движение свободно, как это бывает при взрыве в атмосфере. При ее подходе к земной поверхности избыточное давление составит для приведенного на рисунке примера 0.1 атм, от чего в домах могут быть выбиты все стекла.

Для малой концентрации частиц (например, при  $\alpha_0=10^{-7}$ ) процесс взаимодействия сразу охватывает весь объем влетающего облака. Головная ударная волна вначале не образуется. В пределах облака, а затем и с некоторым отставанием от него, образуется волна сжатия, которая постепенно усиливается, превращается в ударную волну (гораздо более слабую, чем в первом случае), проходит через почти полностью испарившееся и затормозившееся облако частиц и вырывается вперед.

Для влета сферических облаков космического града минимально опасные значения  $\alpha_0$  можно оценить как  $\alpha_0=10^{-5}$  при  $R_0=1$  км и  $\alpha_0=10^{-7}$  при  $R_0=10$  км для скоростей порядка 20–30 км/с. Массы пылевых облаков составят в этих случаях около  $4 \cdot 10^7$  и  $4 \cdot 10^8$  кг, а кинетические



Пространственная эволюция течения по мере опускания сферического облака в атмосфере. Изолинии давления воздуха  $p$  (атм, левые части рисунков) и объемной доли частиц  $\alpha/\alpha_0$  (правые части рисунков) показаны в полуплоскости высота—радиальная координата ввиду предполагаемой осевой симметрии течения. Даны картины динамики для плотного (с начальной концентрацией частиц  $\alpha_0=10^{-4}$ ) и разреженного ( $\alpha_0=10^{-7}$ ) облаков.

энергии — около 1.8—4.1 Мт и 18—41 Мт. Если предположить, что такие облака образовались в результате разрушения сферических ледяных тел, то для радиусов этих тел получатся не такие уж большие значения — приблизительно 20 и 45 м.

### Глобальные взаимодействия. Что случилось с Марсом?

Поскольку при глобальных взаимодействиях облака частиц (считаем их осесимметричными) сопоставимы по своим размерам с диаметром

планеты, возмущениями будет охвачена вся атмосфера. Начнем со случая взаимодействия гигантского облака частиц с атмосферой Марса, и вот почему.

Как известно, атмосфера Марса в настоящее время весьма разрежена: давление

и плотность у поверхности планеты примерно в 100 раз меньше земных значений. Полеты космических аппаратов дают все больше информации в пользу того, что в далеком прошлом (2–4 млрд лет назад) атмосфера там была гораздо более плотная, в какой-то степени напоминающая нынешнюю земную, но состоявшая в основном из углекислого газа.

Существует эволюционный сценарий, который объясняет потерю Марсом атмосферы [6]. В предельно краткой и упрощенной форме он выглядит так. На раннем этапе эволюции Марса круговорот углекислого газа на планете поддерживался, с одной стороны, за счет растворения  $\text{CO}_2$  в воде и образования карбонатных отложений, а с другой стороны — поставки  $\text{CO}_2$  в атмосферу в результате интенсивной вулканической деятельности. Именно на Марсе обнаружены самые большие среди планет Солнечной системы потухшие вулканы. По мере затухания вулканической деятельности атмосфера становилась все более разреженной, парниковый эффект ослабевал, температура понижалась, и, наконец, атмосфера пришла к ее нынешнему состоянию. Данная теория не стала общепризнанной, поскольку она не лишена внутренних противоречий и сталкивается с большими трудностями при объяснении некоторых фактов. В частности, есть свидетельства того, что перемена климата на Марсе произошла довольно быстро, а не в результате длительной и постепенной эволюции. Не обнаружены также пока и карбонатные отложения, которые должны были бы образовывать слой толщиной не менее 80 метров по всей поверхности Марса.

А не мог ли Марс потерять плотную атмосферу в ходе некоторого катастрофического процесса космического мас-

штаба? Расчеты прямо показывают реальность такого события.

Речь идет о моделировании столкновения Марса с большим облаком мелких частиц, сопоставимым по своим размерам с планетой. Подобное облако могло образоваться поблизости от Марса в результате столкновения, например, двух крупных астероидов. В поясе астероидов, расположенном между орбитами Марса и Юпитера, таких тел и сейчас предостаточно, а в далеком прошлом их было еще больше, причем более крупных размеров (считается, что в этом поясе постоянно происходят процессы столкновения и дробления тел [7]). Не случайно автор книги [7], известный специалист в области физики метеоров и малых планет В.С.Гетман, называет этот пояс каменоломней Солнечной системы.

Древняя атмосфера Марса представляется с помощью изотермической экспоненциальной модели. Давление и плотность принимаются совпадающими у поверхности с современными земными значениями, но в силу меньшей силы тяжести на Марсе медленнее меняющимися с высотой (характеристическая высота атмосферы на Марсе  $H^* \approx 22$  км по сравнению с  $H^* \approx 7$  км для Земли).

Планета берется в виде твердого шара марсианского радиуса  $R = 3400$  км. Предполагается, что на нее налетает облако частиц в виде цилиндрического слоя радиусом  $R_0$  и высотой  $L_0$  со скоростью  $v_0$ , направленной вдоль оси цилиндра к центру планеты.

Рассмотрим два набора исходных параметров. В обоих случаях  $R_0 = 1.1R$  (что больше радиуса Марса примерно на толщину его атмосферы). Начальный радиус каждой частицы равен 1 мм. В случае (а)  $L_0 = 2R_0$ ,  $v_0 = 40$  км/с (что попадает примерно в середину воз-

можного диапазона относительных скоростей космических тел в Солнечной системе),  $\alpha_0 = 10^{-4}$ ; во втором  $L_0 = R_0$ ,  $v_0 = 5$  км/с (вторая космическая скорость у поверхности Марса),  $\alpha_0 = 10^{-5}$ . Расчет начинается с высоты 400 км над поверхностью планеты.

На двух рисунках представлены распределение давления (тоновая шкала), плотности газа (изолинии с отмеченными значениями — в единицах невозмущенной плотности атмосферы у поверхности планеты) и поле скоростей газов (стрелки). Левый рисунок дает картину в момент времени  $t = 600$  с после начала вторжения для первого случая. Максимальная скорость в показанной области достигает почти 30 км/с, что в шесть раз больше второй космической. Поэтому разлетающийся газ уже не сможет вернуться к планете и покинет ее навсегда. Распределение плотности показывает, что унос массы атмосферы в основном происходит в направлении движения пылевого облака, т.е. облако как бы срывает атмосферу с планеты и выталкивает ее в космос. Масса оставшейся части атмосферы (не первоначальной, а в смеси с парами частиц) по отношению к начальной массе атмосферы Марса составляет по расчету 0.33. На более поздних стадиях процесса наблюдается сложное течение вокруг планеты с отражениями от оси симметрии (значения давления и плотности у поверхности постепенно выравниваются).

Рисунок справа соответствует второму случаю и дает картину течения в момент времени  $t = 3000$  с. Обращаем внимание, что стрелки, изображающие поле скоростей, для обоих рисунков даны в разных масштабах (во втором случае стрелки той же длины соответствуют примерно в шесть раз меньшей скоро-



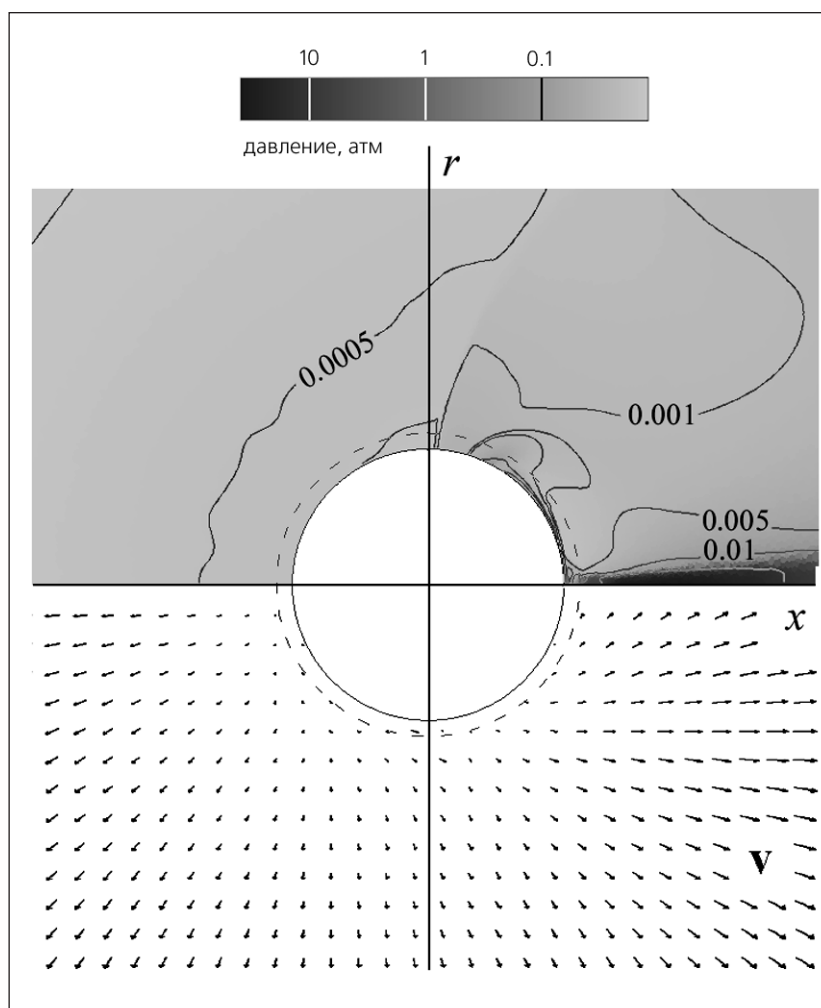
сти, чем в первом). Здесь максимальные скорости в газе (5.3 км/с) лишь немного превосходят вторую космическую скорость, а распределение плотности таково, что уносится незначительная масса газа, поэтому атмосфера не теряет, а наращивает свою массу на 15% за счет паров частиц. Оба рисунка соответствуют примерно одной и той же стадии процесса. Здесь показаны картины течений после воздействия ударной волны на всю поверхность планеты.

Итак, в результате взаимодействия с пылевым облаком масса атмосферы может как существенно уменьшиться, так и возрасти.

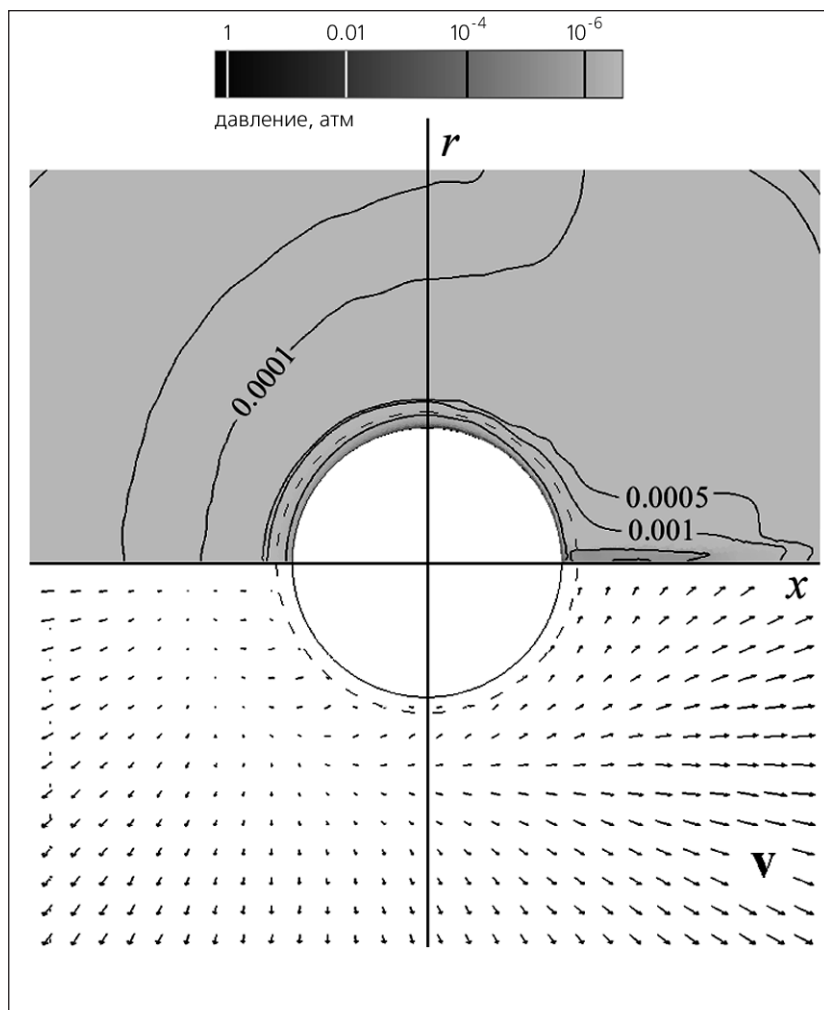
В принципе, можно поставить следующую обратную задачу: найти такие параметры налетающего облака частиц, при которых будет уноситься заданная часть массы исходной атмосферы. Иначе говоря, зная нынешние характеристики марсианской атмосферы и предполагая, что в далеком прошлом у поверхности они были, например, как у Земли, можно определить (хотя, конечно, и неоднозначно) параметры облака, встреча с которым вызвала предполагаемую потерю марсианской атмосферы. А затем и оценить, какие процессы и тела могли породить такого «похитителя» атмосферы.

Возникает естественный вопрос: может ли такая катастрофа произойти с Землей?

Очевидно, взаимодействие космического облака частиц с атмосферой Земли имеет принципиально такой же характер, как и для Марса. Различие — только в других значениях параметров: размеров планеты, силы тяжести, второй космической скорости. Земля больше Марса и потерять атмосферу в результате подобного катастрофического процесса ей труднее, но такая возможность не исключена. Наши расчеты позволили



*Модель столкновения большого облака мелких частиц с Марсом. На левом рисунке показаны распределения давления, плотности, а также поле скоростей газа около Марса через 600 с после вторжения облака (на высоте 400 км) при скорости  $v_0=40$  км/с. В этом случае облако срывает большую часть атмосферы планеты. На правом рисунке — характеристики атмосферы через 3000 с после вторжения облака вдвое меньшего объема, в 10 раз менее плотного и с начальной скоростью 5.3 км/с. Здесь окончательный результат столкновения противоположный — наращивание на 15% массы атмосферы Марса. Расчеты проводились для осесимметричной картины течения;  $x$  — координата вдоль вектора начальной скорости облака,  $r$  — расстояние от оси симметрии.*



установить, от столкновения с каким пылевым облаком это может случиться.

Правда, подробное исследование взаимодействия с атмосферой облаков частиц, которые могут унести в космос значительную часть атмосферы, для Земли не столь актуально, как для необитаемой планеты. Воздействие ударной волны и потоков излучения на земную поверхность будет заведомо губительно для жизни на Земле и при существенно меньшей энергии налетающего облака, когда об уносе значительной части атмосферы можно еще не говорить. Так, если размер облака сравним с диаметром Земли, то уже при небольших скоростях влета (скажем, со второй космической скоростью 11.2 км/с)

ударная волна станет опасной даже для самого разреженного града — при наименьшем из рассмотренных значений начальной объемной доли частиц  $\alpha_0=10^{-9}$ . Такой град, будь он локальным, вообще не создал бы для Земли никакой угрозы.

### Нужна предельная осторожность!

Как уже упоминалось, существует важный практический аспект проблемы. В последнее время в научной и популярной литературе много говорится об опасности столкновения с Землей достаточно крупного космического тела — астероида или кометы. Обсуждаются различные способы предот-

вращения такого столкновения, в том числе — путем дробления тела на множество мелких осколков. Однако такой вариант спасения Земли нужно очень тщательно проработать — ведь в этом случае планета столкнется с большим потоком мелких частиц. А космический град, как мы показали, чреват не менее катастрофическими последствиями для жизни на Земле, чем столкновение с одним компактным телом. Тут требуется предельная осторожность, так как катастрофа может из локальной превратиться в глобальную. Работа в данном направлении поможет установить границы такой опасности, но уже ясно: устранять угрозу столкновения космического тела с Землей лучше путем изменения траектории его полета, а не разрушения.

Наши расчеты подтвердили, что в результате столкновения с большим пылевым облаком планета может лишиться своей атмосферы. При некоторых исходных параметрах налетающего облака частиц (в частности, при меньших скоростях) возможна и обратная ситуация, когда атмосфера существенно вырастет в своем объеме и массе. Но при этом, естественно, может радикальным образом измениться ее состав.

Остается надеяться, что с Землей этого никогда не произойдет. В то же время, имеет смысл повнимательнее взглянуть в окружающее нас космическое пространство. Возможно, где-то подобные взаимодействия иногда все же случаются. Мы установили, что они должны сопровождаться еще и мощными, хотя и кратковременными, световыми вспышками, которые можно зарегистрировать современной аппаратурой даже на межзвездных расстояниях. Обнаружение в космосе таких процессов дало бы много новой интересной информации.

И последнее. Сейчас между Россией и США идет дискуссия по вопросу разработки систем противоракетной обороны. Разрушение ядерных ракет в космосе, конечно, не создаст потоков частиц, способных воздействовать на Землю посредством ударной волны или светового излучения, поскольку у образовавшихся обломков и скорость невелика, и суммарная масса мала. Но здесь появляется тре-

тий, новый фактор опасности. Именно — распыление радиоактивного вещества в ближайшем космосе. Как поведут себя радиоактивные частицы? Сколько их выпадет на Землю? Как они распределятся по поверхности Земли? Каково и на каких площадях будет радиоактивное заражение? Все это вопросы, которые требуют тщательного анализа. Не исключено, что в результате «успешного» отражения ракет-

ной атаки вся планета накроется радиоактивным облаком. И тогда вместо локального получится даже более опасное глобальное воздействие на планету, как и в случае разрушения подлетающего к Земле астероида. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-01-00124.**

## Литература

1. Millman P.M. // *Naturwissenschaften*. 1979. V.66. P.134—139.
2. Алимов Р.В., Дмитриев Е.В. Противоастероидная защита Земли // *Природа*. 1995. №6. С.94—101.
3. Плотников П.В., Шуришалов Л.В. // *Астрон. вестн.* 1997. Т.31. №1. С.72—81.
4. Шуришалов Л.В., Плотников П.В. // *Тр. Мат. ин-та им.В.А.Стеклова*. 1998. Т.223. С.255—263.
5. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М., 1978.
6. Pollack J.V., Kasting J.F., Richardson S.M., Poliakov K. // *Icarus*. 1987. V.71. №2. P.203—224.
7. Гетман В.С. Внуки Солнца. Астероиды. Кометы. Метеорные тела. М., 1989.

Коротко

Астрономы Медонской обсерватории под Парижем, наблюдая в инфракрасных лучах самый крупный спутник Сатурна — Титан, обнаружили на его поверхности яркие «точки». По мнению французских астрономов, это могут быть вершины поднятий, покрытые льдами. Окончательное заключение, идет ли речь о водном льде или замерзших углеводородах, можно будет сделать через четыре года, когда на поверхность Титана опустится космический зонд «Гюйгенс».

*Sciences et Avenir*. 2000. №641. P.28 (Франция).

Сотрудники Лаборатории реакторов Киотского университета (Япония) на основании всех имеющихся данных о радиационной обстановке после чернобыльской аварии провели оценку дозы у эвакуирован-

ных жителей, которая была получена ими до эвакуации. Согласно расчетам, в ряде сел дозовые нагрузки для многих могли превысить 0.5 Зв/чел. Как известно, эта величина принята за пороговую дозу, при которой наблюдается депрессия кроветворной функции костного мозга. Облучение некоторых жителей могло быть и больше — дозами до 1 Зв и выше.

*Радиационная биология. Радиоэкология*. 2000. Т.40. №5. С.582—588 (Россия).

В полярной стратосфере Арктики на рубеже поздней зимы и ранней весны формируются так называемые перламутровые облака, наблюдаемые в сумерках. Недавно М.Курило (M.Kurylo), специалист НАСА, работающий по программе исследования верхних слоев ат-

мосферы (NASA's Upper Atmospheric Research Program), пришел к заключению, что перламутровые облака — еще один виновник истощения озонового слоя. На заседании Американского геофизического союза он сообщил о существовании связи между истощением озона в атмосфере северной полярной области Земли и колебаниями климата.

*Geotimes*. 2000. V.45. №7. P.10 (США).

С февраля по март 2000 г. произошло рекордное (на 60%) сокращение толщины озонового слоя над Арктикой. Сейчас он постепенно восстанавливается, однако чистая убыль его толщины составила с начала 80-х годов 15%.

*Science et Vie*. 2000. №994. P.30 (Франция).



# Структура поверхности биополимеров исследуется тритиевой планиграфией

А.В.Шишков, Е.Н.Богачева

**М**ногие, если не большинство, физических и химических процессов гетерогенны. Протекают они как правило на поверхности раздела фаз (твердое тело—газ, жидкость—жидкость и др.). Понять механизм таких процессов, а тем более управлять ими невозможно, не зная во всех деталях структуру поверхности, ее молекулярный состав, наличие и распределение активных центров. Для изучения структуры поверхности сегодня используется обширный арсенал физических и химических методов. Большинство из них, однако, дают довольно обобщенную информацию о приповерхностном слое примерно молекулярного размера (т.е. толщиной 10–100 Å), но конкретные фрагменты (функциональные группы), которые непосредственно контактируют с молекулами другой фазы, остаются неопознанными. А ведь именно с таких контактов начинается любой химический или физический процесс.

Если обратиться к биологическим системам, то в них найдется немало гетерогенных процессов, в которых своеобразную разновидность поверхности представляют



**Александр Владимирович Шишков**, доктор химических наук, профессор, заместитель директора Института химической физики им.Н.Н.Семенова РАН. Научные интересы связаны с химией горячих атомов, структурой биополимеров.

**Елена Николаевна Богачева**, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Занимается физико-химическими исследованиями биополимеров, компьютерным моделированием их структуры.

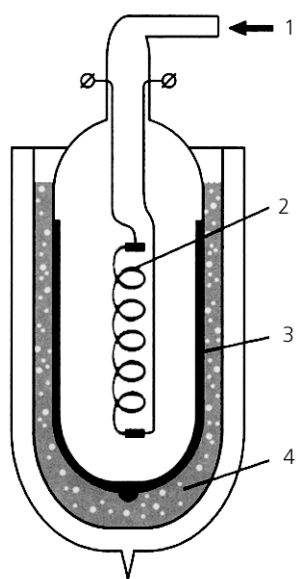
Авторы — лауреаты Государственной премии РФ (2000).

периферические участки макромолекул и их комплексов. Такая «поверхность» изучается методами химической модификации: к поверхностной группе исследуемого объекта присоединяют тестирующую частицу — молекулу, радикал

или ион, после чего идентифицируют модифицированную группу тем или иным аналитическим методом. Используются также различные зонды — парамагнитные, флуоресцентные и т. п. Во всех этих случаях получаемая ин-

© А.В.Шишков, Е.Н.Богачева





Реактор, используемый в тритиевой планиграфии. 1 — патрубок для подачи молекулярного трития; 2 — нагреваемая электрическим током вольфрамовая спираль, на которой в результате диссоциации образуются горячие атомы трития; 3 — вещество-мишень; 4 — жидкий азот или другой хладагент.

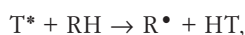
формация характеризует только определенную функциональную группу, в лучшем случае — небольшую локальную область, ничего не говоря об остальной части поверхности.

## Тритиевая планиграфия

Мы давно занялись разработкой метода, который позволил бы изучать всю поверхность биологических макромолекул, и используем для этого радиоактивный изотоп водорода — тритий. В основе этого метода, названного тритиевой планиграфией, лежит замещение атомов водорода образца (мишени) атомами трития. Это достигается бом-

бардировкой пучком горячих атомов Т, энергии которых выше энергетического порога реакции отрыва атома водорода от исследуемой молекулы или группы. По этой причине реакции горячих атомов индифферентны к температуре, и вероятность взаимодействия определяется не энергетическими, а стерическими (пространственно-ориентационными) факторами. Зная энергетическую зависимость сечения химических реакций с участием горячих атомов трития и термализующую способность разных сред, можно найти условия, при которых включение метки происходит при первом однократном столкновении атома с молекулой-мишенью, свидетельствуя о стерической доступности атакуемой связи.

С углеводородами, например, включение метки протекает в две стадии: сначала горячий атом трития отрывает атом водорода от молекулы-мишени



а затем образовавшийся свободный радикал  $R^*$  рекомбинирует с холодным атомом трития



Для включения метки важно, чтобы радикал «дожил» до встречи с атомом трития и тот заместил бы именно оторвавшийся водород. Это достигается охлаждением мишени до температуры жидкого азота 77 К, при которой радикалы практически неподвижны, а атомарный холодный тритий свободно диффундирует по всему объему.

Горячие атомы трития образуются в результате термической диссоциации газообразного молекулярного трития  $T_2$  на нагретой до 2000 К металлической поверхности. Порог реакции отрыва водорода Н, т.е. ми-

нимальная энергия атома Т, при которой возможен процесс, составляет 0,3 эВ. Чтобы ввести метку при первом столкновении атома трития с мишенью, источник горячих атомов должен генерировать частицы, энергия которых заключена в интервале  $0,3 \leq E_0 \leq 0,4$  эВ. Дальнейшее увеличение  $E_0$  приводит к нежелательному мечению глубинных слоев изучаемого объекта.

Аппаратура, используемая для введения метки, чрезвычайно проста. Это — реактор, стеклянный цилиндрический сосуд, по оси которого натянута вольфрамовая нить, нагреваемая до 2000 К электрическим током. Исследуемое вещество наносится тонким слоем на внутренние боковые стенки реактора, охлаждаемого жидким азотом. В предварительно вакуумированный объем реактора подается молекулярный тритий до давления  $\sim 10^{-3}$  мм рт. ст., при котором атомы трития, испаряемые с поверхности нити, свободно, без столкновений, достигают мишени. Энергетический спектр атомов при этом соответствует температуре нити и около 26% атомов имеют энергию выше порога реакции отрыва. Судя по расчетам, учитывающим максвелловское распределение атомов, и прямыми экспериментами, глубина реакционного слоя в органической мишени всего 3–5 Å, т.е. сопоставима с размерами углеводородной группы. Меченные тритием фрагменты структуры идентифицируют по-разному, в зависимости от того, какой объект исследуется. Если это белковая молекула, ее полипептидную цепь расщепляют протеазами, фракционируют образовавшиеся полипептиды высокоэффективной жидкостной хроматографией и каждый из них подвергают гидролизу до аминокислот с последующим их анализом и одновременным счетом радиоактивности.

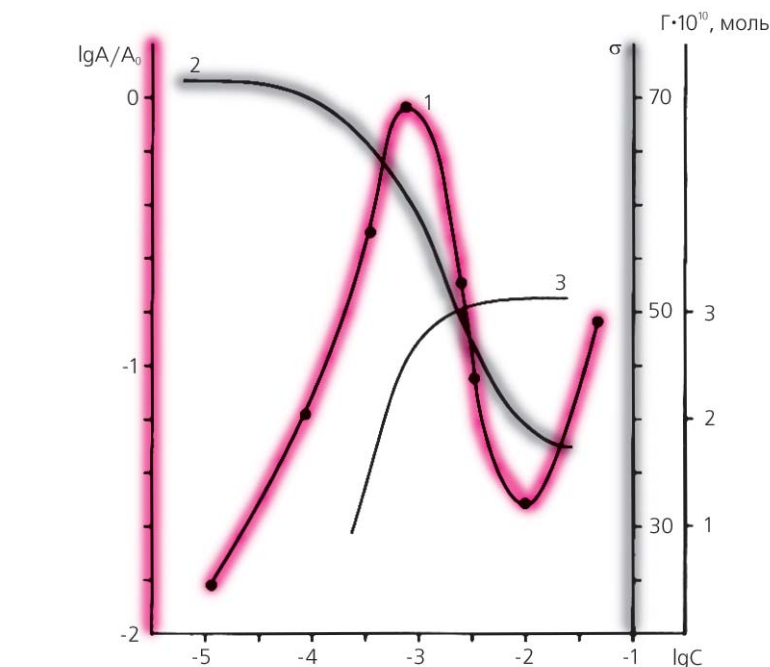
Таким образом, если тритиевая метка обнаружена в каком-либо фрагменте молекулы-мишени, это однозначно свидетельствует, что он находится на поверхности исследуемого объекта.

Изотопная модификация — замещение водорода тритием — процесс неселективный (в отличие от химической модификации), он может протекать в любых водородсодержащих частях молекулы, и поэтому практически вся ее поверхность оказывается помеченной. Малый размер атома трития позволяет ему «встраиваться» в такие участки поверхности, которые стерически недоступны сравнительно крупным модифицирующим агентам. Наконец, и это принципиально важно, замена одного изотопа водорода на другой никак не сказывается на химических и большинстве физических свойств молекулы-объекта, чего нельзя сказать о методах, связанных с введением чужеродных групп.

Проиллюстрируем некоторые возможности тритиевой планиграфии.

## Адсорбционные слои

Любое взаимодействие на поверхности раздела фаз начинается с адсорбции, благодаря которой по всей границе раздела образуются адсорбционные слои. Проверку эффективности тритиевой планиграфии как метода изучения молекулярных поверхностей мы начали с растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ), контактирующих с атмосферным воздухом [1]. Это — простейшая система, в которой на границе раздела фаз жидкость—газ образуются адсорбционные слои ПАВ. В экспериментах были использованы растворы ПАВ нескольких концентраций, а сами вещества — с разной дли-



Характеристики адсорбционного слоя додецилсульфата натрия, зависящие от концентрации ( $\lg C$ ) этого поверхностно-активного вещества. 1 — приведенная радиоактивность ( $\lg A$ ), 2 — поверхностное натяжение ( $\sigma$ ), 3 — адсорбция ( $\Gamma$ ).

ной углеводородной цепи: С-16 (бромид цетилтриметиламмония), С-12 (дodeцилсульфат натрия), С-3 (пропионат калия) и С-2 (ацетат натрия). Оказалось, что в области малых концентраций ПАВ зависимость включения метки (т.е. величины, измеряемой как радиоактивность единицы площади поверхности) от концентрации напоминает изотерму адсорбции. Для ацетата натрия эта зависимость сохранялась во всем интервале концентраций, однако для молекул ПАВ с большой длиной углеводородной цепи (С-12) зависимость была аномальной: включение метки достигало максимума при некоторой концентрации, после чего уменьшалось. Мы объясняем этот эффект тем, что по мере заполнения границы раздела фаз адсорбированные молекулы ПАВ меняют свою

ориентацию. Сначала гидрофобные углеводородные цепи располагаются в основном горизонтально — в плоскости границы, и потому атаке атомарного трития доступны все или почти все углеводородные группы. По мере увеличения концентрации ПАВ в объеме возрастает и количество молекул на границе раздела. Это возможно лишь в том случае, если гидрофобные хвосты выстраиваются вертикально, в результате структура слоя становится рыхлой. При этом число групп в молекуле, в которые может включиться метка, уменьшается, вплоть до единственной концевой метильной группы  $\text{CH}_3$ . Так удалось доказать, что поверхность раздела фаз жидкость—газ образована молекулами, ориентация которых зависит от концентрации вещества в растворе.

## Доступная поверхность биологических макромолекул

В организме многие биохимические реакции протекают в цитоплазме — водном растворе, содержащем разные соединения. Для описания в биополимерах атомов и их групп, находящихся в ван-дер-ваальсовом контакте с молекулами воды, был введен специальный термин — *доступная поверхность* [2]. Именно эти группы, контактируя с водой, обуславливают уникальную пространственную структуру сложных биологических макромолекул, например белков, и участвуют в начальных стадиях всех межмолекулярных реакций. Определить доступную поверхность можно с помощью некоторых компьютерных программ, учитывающих данные рентгеноструктурного анализа с высоким разрешением, а также по результатам прямых экспериментов с использованием зондов или модифицирующих агентов. В последнем случае, как упоминалось, опознаются лишь отдельные функциональные группы или их совокупность на локальных

участках поверхности биополимеров. Тритиевой планиграфией удается получить как качественную, так и количественную информацию о всей доступной поверхности. Иными словами, в белках можно определить, какими и сколько группами она образована. В опытах мы установили, что включение тритиевой метки *A* в белковую молекулу связано с площадью доступной поверхности *S*, рассчитанной по данным рентгеноструктурного анализа, простой зависимостью:  $A = k \cdot S$ , где *k* — коэффициент пропорциональности.

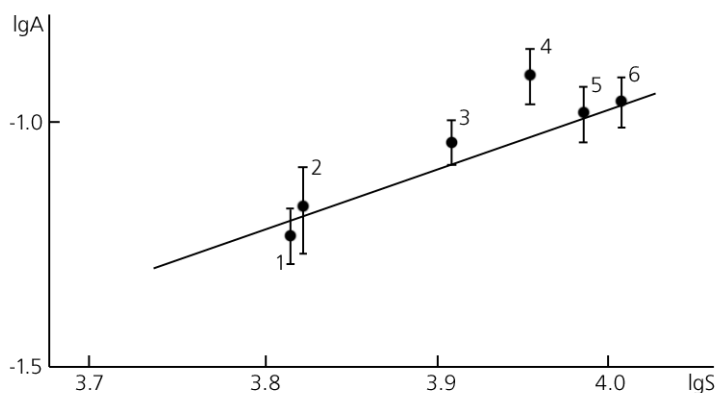
По характеристикам такой поверхности, выявленным методом тритиевой планиграфии, можно сделать ряд важных выводов о структуре объекта: плотности упаковки полимерной цепи, форме макромолекулы, рельефе поверхности (степени шероховатости). Кроме того, обнаруживаются и детали ее топографии: распределение гидрофобных, гидрофильных и заряженных групп, а также функционально значимых участков.

Чувствительность тритиевой планиграфии уникальна — удается «увидеть» изменения структуры или конфор-

мационные переходы, в том числе и маломасштабные, которые другими методами не выявляются. Уже не один десяток лет оживленную дискуссию вызывает механизм разворачивания-свертывания полипептидной цепи белков: осуществляется ли этот процесс аналогично фазовому переходу 1-го рода или через стадии образования промежуточных состояний.

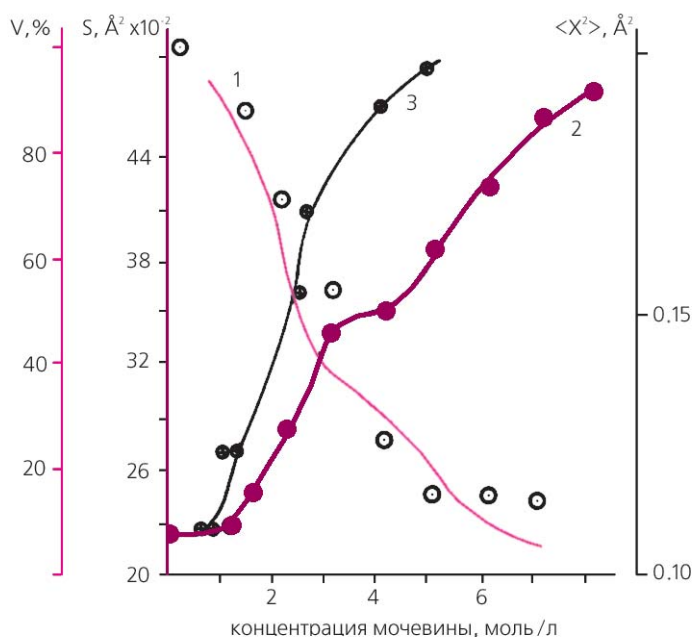
В экспериментах по денатурации некоторых глобулярных белков, пространственная структура которых уже известна, нам удалось доказать, что в ходе этого процесса нативная форма превращается в полностью денатурированную (развернутую), пройдя стадию промежуточного состояния. По всей видимости, такой механизм довольно широко распространен.

Мы определили структурные и термодинамические параметры переходов и поняли, что промежуточная форма связана с функциональными свойствами биополимеров, в частности с их ферментативной активностью. Рассчитав зависимость доступной площади поверхности *S* лизоцима (одного из изученных нами белков), его ферментативной активности *V* и среднеквадратичной амплитуды смещения атомов цепи  $\langle X^2 \rangle$  от содержания мочевины, меняющей природную конформацию белка, мы нашли ту область ее концентраций, в которой фермент находится в промежуточной форме. Выяснилось также, что конкретная конформация зависит от химической природы денатурирующего агента и может иметь вид как разрыхленной глобулы, в которой сохранена вторичная структура ( $\alpha$ -спирали,  $\beta$ -складки), так и сжатой, отличающейся от нативной более компактной упаковкой. Примечательно, что сжатие глобулы приводит к более резкому спаду фер-

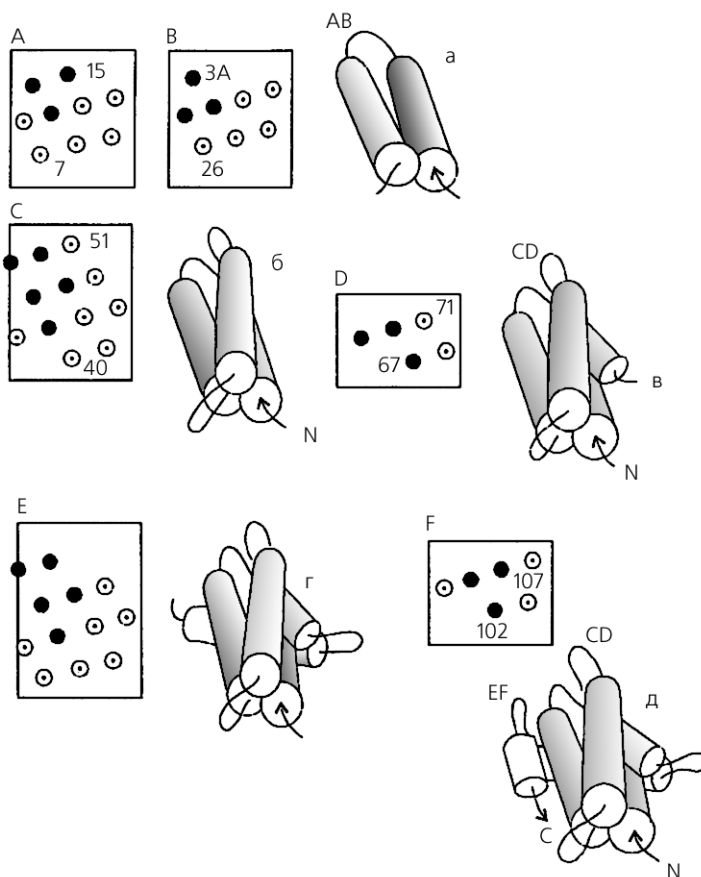


Линейная связь приведенной радиоактивности ( $\lg A$ ) с доступной площадью поверхности ( $\lg S$ ) белков. 1 — лизоцим, 2 — рибонуклеаза S, 3 — миоглобин, 4 — папаин, 5 — субтилизин BNP, 6 —  $\alpha$ -химотрипсин.

Денатурация лизоцима под действием мочевины. По мере увеличения ее концентрации глобула белка разворачивается, о чем свидетельствуют снижение ферментативной активности  $V$  (1), рост площади доступной поверхности  $S$  (2) и возрастание амплитуды смещения атомов цепи  $\langle X^2 \rangle$  (3). При содержании мочевины 3–4 моль/л образуется промежуточная форма белка.



Укладка спиралей в парвальбумине. Осуществляется она в направлении от N- к C-концу полипептидной цепи белка и проходит в несколько стадий: сначала образуется комплекс из двух спиралей (а), затем из трех (б) и так до тех пор, пока все пять спиральных участков не образуют общий домен (д). Соседние пары спиралей соединяются между собой петлями, причем две последние петли — CD и EF — служат центрами связывания ионов кальция. Приведенная последовательность укладки дана в соответствии с наиболее вероятными зонами контакта, показанными на развертках (обозначены латинскими буквами, числа — номера аминокислотных остатков) поверхности спиралей. N и C — концевые участки полипептидной цепи белка.





ментативной активности, чем расширение. Это, по всей видимости, обусловлено ограничением внутримолекулярной подвижности в сжатой форме глобулы.

Далее мы проверили, пригоден ли наш метод для реконструкции *пространственной структуры* глобулярных белков [3]. Естественно, что и эти эксперименты первоначально проводили на белках с уже известной третичной структурой, одним из них был парвальбумин карпа. Известно, что полипептидная цепь этого белка образует шесть спиралей. Заметим, даже при столь малом количестве деталей структуры существует множество вариантов их взаимного расположения. Мы проверили все варианты укладки спиралей в пространственную структуру и поняли, что только один из них соответствует модели, полученной рентгенографически. Это укладка от N- к С-концу полипептидной цепи (аналогичная закономерность была установлена и для других исследованных объектов). Примечательно, что эта последовательность совпадает с направлением биосинтеза белков на рибосоме *in vivo*.

## Надмолекулярные структуры

Третьевую планиграфию мы применили не только для изучения поверхности макромолекул и ее структуры, но и для выяснения архитектоники таких сложных надмолекулярных комплексов, как вирусы и рибосома. Это практически невозможно осуществить какими-либо другими методами.

В клетках любого организма макромолекулы чаще всего функционируют в составе разного рода комплексов, например белков и нуклеиновых кислот, клеточных мембран и т.п. Знание общей архитектоники таких комплексов и структуры индивидуальных компонентов весьма важно, чтобы понять механизмы их действия. Между тем структурные исследования подобных систем чрезвычайно сложны, информацию об их строении в большинстве случаев получают суммированием результатов разных методов.

Мы применили третью планиграфию для изучения надмолекулярных структур и опробовали ее на нескольких объектах, но здесь проиллюстрируем результаты лишь

на двух примерах — вирусе табачной мозаики (ВТМ) и вирусе гриппа А. Первый из них хорошо изучен, известно, что он состоит из белковой оболочки, собранной в виде жесткого цилиндра (длиной 3000 и диаметром 180 Å), из тесно прилегающих друг к другу одинаковых белковых субъединиц. Полость цилиндра (диаметром 40 Å), заполнена спирально уложенной РНК.

Что же удалось выяснить с помощью третью планиграфии? Судя по включению метки, доступными для замещения водорода на тритий оказались фрагменты последовательности 1—15, 48—68, 96, 102—104 и 141—158 [4]. Известно, что белок оболочки ВТМ имеет четыре α-спиральных участка, расположенных по радиусу частицы и соединенных петлей из остатков 48—68. На внешней поверхности находятся также концевые области 1—15 и 141—158, а 96-й аминокислотный остаток и фрагмент 102—104 — внутри вирусной частицы и контактируют с молекулой РНК. Почему же в этих внутренних частях вириона водород тоже заместился на тритий? Мы находим объяснение этому факту в том, что в оболочке, на «стыках» трех белковых субъединиц, существуют каналы диаметром ~ 5 Å, через которые тритий и проникает внутрь белкового цилиндра. На рентгенограммах эти области характеризуются как места с пониженной электронной плотностью.

Строение вируса гриппа А существенно сложнее. Сферическая частица вириона образована фосфолипидной мембраной, в которую включены нейраминидаза, гемагглютинин и белки, обозначаемые как М1, М2 и NP. Нейраминидаза локализована на мембранной поверхности, гемагглютинин выходит на нее частично, М2 пронизывает мембрану насквозь, а NP расположен внутри

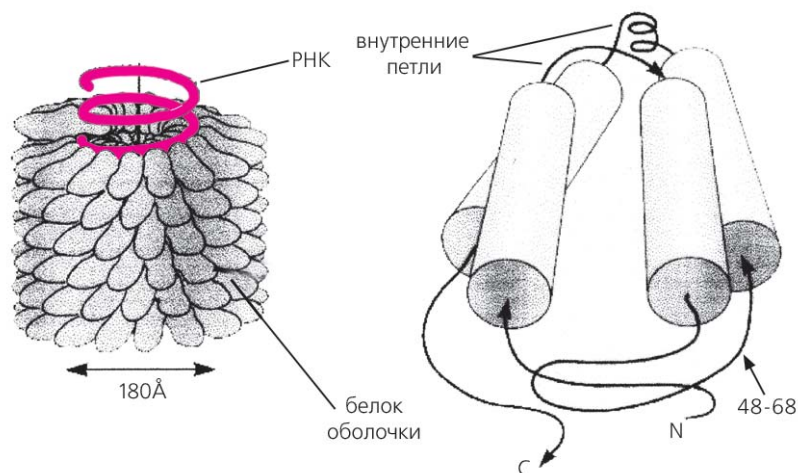
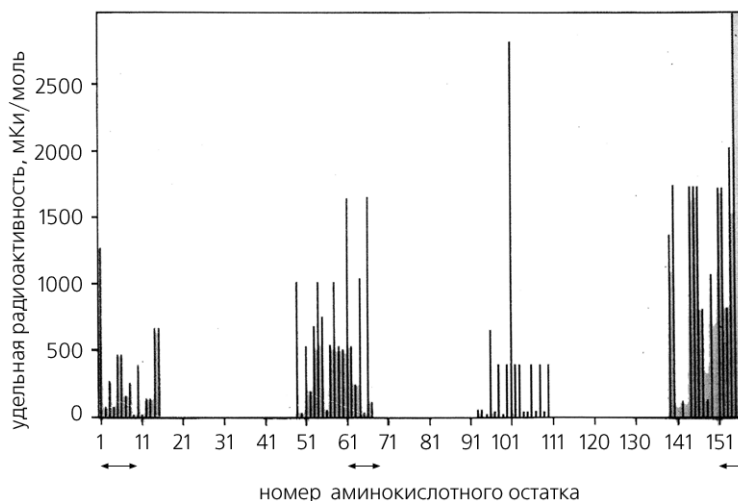


Схема строения вируса табачной мозаики. Справа приведена отдельная белковая молекула, состоящая из четырех спиральных участков.

вириона и образует комплекс с вирусной РНК. С помощью тритиевой планиграфии удалось подтвердить частичную экспонированность гемагглютинина на поверхности мембраны и установить, что он ответствен за слияние мембран вируса и клетки, обеспечивая тем самым транспорт инфекционной РНК.

Что касается белка М1, то, согласно последней версии из нескольких существующих, он располагается на внутренней поверхности липидного бислоя и контактирует с РНК. Исходя из наших данных, мы предлагаем модель пространственной структуры М1 в составе вириона [5]. Согласно модели, его полипептидная цепь образует 13  $\alpha$ -спиральных участков, составляющих три домена. Характер распределения метки указывает на то, что спирали направлены преимущественно вдоль плоскости мембраны и расположены ближе к ее внутренней поверхности. В отдельных чертах предложенная модель подтверждается данными рентгеноструктурного анализа водорастворимого домена, состоящего из 158 N-концевых аминокислотных остатков, но дает существенно иное расположение других доменов. Это не удивительно, так как структура в гидрофобном липидном окружении явно не может быть похожа на структуру в растворе.

Но как мог проникнуть тритий в белок, полностью интегрированный в мембрану? Видимо, наружный фосфолипидный слой в этом случае работает подобно фильтру, который не препятствует проникновению горячих атомов трития, а лишь ослабляет их поток, падающий на поверхность. В специальных экспериментах мы нашли, что ослабление потока происходит по экспоненте  $I = I_0 \cdot e^{-kx}$ , где  $I_0$  и  $I$  — поток атомов на поверхности и на глубине  $x$ ,  $k$  — ко-



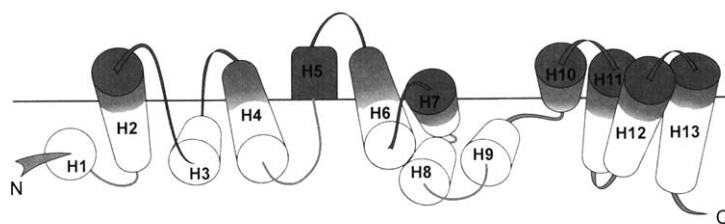
*Включение тритиевой метки в белок ВТМ. Доступные тритию участки полипептидной цепи, где отмечается радиоактивность, экспонированы в основном на поверхности вириона и соответствуют антигенным детерминантам белка в составе вируса (отмечены стрелками).*

эффициент ослабления, характеризующий вероятность прохождения атомом слоя толщиной  $x$  без потери реакционной способности. Определив величину  $k$ , можно оценить среднюю глубину погруженности в мембрану макромолекулы; для белка М1 эта величина составила 24 Å, т.е. половину толщины бислоя.

Приведенные примеры не исчерпывают круг объектов, исследованных в настоящее время с помощью метода тритиевой планиграфии. Среди них многие глобулярные белки и белковые комплексы, комплексы белок-РНК (рибосома) и белок-ДНК сложного

строения (хромосома), вирусы, фаги и даже целые клетки. Заинтересовавшийся читатель может найти более подробную информацию в наших обзорах [6—8] и монографии [9].

Как показывают результаты, тритиевая планиграфия — весьма простой по техническому исполнению и информативный метод исследования поверхности биополимеров и их структуры. С помощью этого метода удастся определить даже контактирующие между собой части разных комплексов и прояснить механизмы взаимодействия отдельных элементов в сложных биологических системах. Это



*Укладка белка М1 в мембране вируса гриппа А. Для большей наглядности цилиндры, имитирующие  $\alpha$ -спирали, разнесены. Темные фрагменты спиралей — участки, выходящие на поверхность мембраны и содержащие тритиевую метку.*

особенно важно для теоретической и практической иммунологии, в которой изучается образование комплекса антиген-антитело. Мы надеемся,

## Литература

1. *Вольнская А.В., Скрипкин А.Ю., Шишков А.В., Гольданский В.И.* // Докл. АН СССР. 1982. Т.226. С.871—874.
2. *Lee B., Richards F.M.* // J. Mol. Biol. 1971. V.55. P.379—400.
3. *Bogacheva E.N., Goldanskii V.I., Shishkov A.V., Galkin A.V., Baratova L.A.* // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1998. V.95. P.2790—2794.
4. *Goldanskii V.I., Kasbirin I.A., Shishkov A.V., Baratova L.A., Grebenshchikov N.I.* // J. Mol. Biol. 1988. V.201. P.567—574.
5. *Shishkov A.V., Goldanskii V.I., Baratova L.A., Fedorova N.V., Ksenofontov A.L., Zhirnov O.P., Galkin A.V.* // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1999. V.96. P.7827—7830.
6. *Шишков А.В.* // Хим. физика. 1991. Т.10. С.878—900.
7. *Шишков А.В., Баратова Л.А.* // Успехи химии. 1994. Т.63. С.825—841.
8. *Богачева Е.Н., Шишков А.В.* // Молекуляр. биология. 2000. Т.34. С.839—853.
9. *Баратова Л.А., Богачева Е.Н., Гольданский В.И., Колб В.А., Спириин А.С., Шишков А.В.* Тритиевая планиграфия биологических макромолекул. М., 1999.

что наш метод станет ценным дополнением к тем способам, которые традиционно используются для изучения биологических макромолекул. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 03-99-33258.**

### Гибель моа: не вымирание, а «блицкриг»

Тысячу лет назад, когда на острова Новой Зеландии впервые высадились люди (полинезийцы племени маори), там во множестве встречались гигантские нелетающие птицы моа (*Dinornithiformes*) ростом выше человека. Их было 11 видов, причем у некоторых масса самца достигала 250 кг, и даже у самых «мелких» видов она превышала 20 кг. В 1642 г. в Новой Зеландии появились европейцы, но ни одной птицы-моа в живых уже не застали. Как, почему и за какое время они исчезли? Этот вопрос занимает зоологов с той поры, когда в 1830 г. были обнаружены скопления огромных птичьих костей.

На самую значительную из стоянок маори, расположенную в устье р.Шаг, на юго-востоке Южного острова, недавно натолкнулись палеоантропологи. Вероятно, здесь была своего рода охотничья база большой группы полинезийцев, достигших этих краев. Количество костей огромных птиц на свалке говорит, что люди употребили несколько тонн их мяса! Судя по радиоуглеродному датированию, стоянку использовали в XIV в. на протяжении всего нескольких десятилетий. Сначала люди перебили всех представителей крупнейших видов моа, а

заодно и легкодоступных тюленей и пингинов. Позже кости крупных птиц становятся на свалке редкостью - маори стали питаться все более мелкими видами моа, а также воробьиными птицами, собаками, рыбой и моллюсками. А потом они просто покинули устье р.Шаг - птицы для них уже не осталось.

Статистикой поголовья моа занялись новозеландские специалисты Р.Н.Холдэуэй и К.Джейком (R.N.Holdaway, C.Jacomb). Чтобы в своей модели не «ускорить» гибель моа, они приняли число первопоселенцев всего за сотню человек, а годовой прирост населения установили в 1%. Сделали допущение, что люди не употребляли яйца моа и не разрушали среду их обитания и что от рук человека погибала всего одна самка в неделю, шедшая в пищу 20 людям. И такая модель показала, что для полного исчезновения моа по всей Новой Зеландии потребовалось бы всего около 160 лет. Но в действительности народонаселение этих островов могло возрастать на 2-3% в год или даже более, а численность прибывших превышать сотню. И птичьи яйца они, несомненно, ели и потребляли более одной особи на 20 человек в неделю, а менее съедобными частями подкармливали собак. Так что в реальности на уничтожение всех гигантских птиц могло уйти лишь несколько десятилетий.

Таким образом, следуют два вывода. Во-первых, это было не медленное исчезновение древней мегафауны, а подлинный «блицкриг» - «молниеносная война» человека против природы. Во-вторых, ошибочны представления, будто страна была заселена намного раньше, чем показывает радиоуглеродный анализ остатков. Считалось, что наткнуться на самые первые стоянки шансов мало, а встреченные - это вторичные и последующие места обитания уже относительно постоянных островитян. В действительности же наоборот: огромные скопления отходов отмечают как раз древнейшие стоянки, когда охота на моа была еще эффективной.

Уникален ли этот случай «блицкрига», приведшего к полному исчезновению видов? Вряд ли. Видимо, следует лучше проследить судьбу карликовых бегемотов на о.Кипр, гавайских нелетающих гусей, фиджийского сухопутного крокодила и многих иных крупных животных, которые исчезли с лица планеты вскоре после появления в их краях человека. В Евразии и Африке такие следы искать уже бесполезно - слишком давно там «водится» двуногий грозный хищник.

Science. 2000. V.287. №5461. P.2170, 2250 (США)

# Молодой коричневый карлик

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук  
Москва

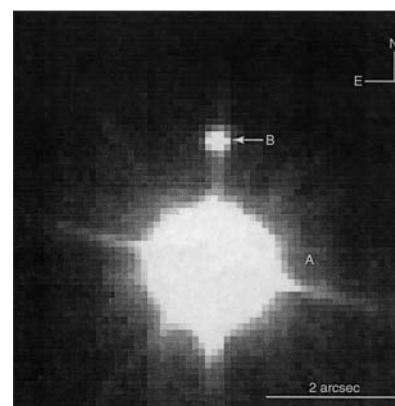
Коричневые карлики — новый класс маломассивных звезд, давно предсказанных, но открытых лишь несколько лет назад [1]. Астрономы с увлечением взялись за исследование этих необычных объектов, заметить которые удастся только в самые сильные телескопы. Главное сейчас — собрать побольше данных о популяции этих не то минизвезд, не то суперпланет.

По современным представлениям, процессы формирования планет и звезд существенно различаются. Звезды рождаются в результате гравитационного сжатия, фрагментации и дальнейшего уплотнения холодных межзвездных облаков, состоящих из газа и мелких твердых частиц — «пылинок». Как самостоятельный объект звезда оформляется в довольно спокойных и стабильных условиях, практически одинаковых для всех звезд данной популяции. Поэтому, например, все звезды одного поколения, но разной массы не слишком различаются по химическому составу. Планеты же, напротив, образуются в околозвездном газопылевом диске, в центре которого уже находится молодая

звезда, создающая вокруг себя существенно неоднородные условия. Поэтому ход формирования планеты зависит от ее положения в диске: чем ближе орбита планеты к звезде, тем сильнее ее параметры зависят от особенностей звезды.

Эти теоретические соображения пока еще не подкреплены надежными наблюдениями: даже рождение звезды астрономы научились наблюдать сравнительно недавно (для этого были созданы субмиллиметровые и инфракрасные телескопы), а заметить возникновение планеты гораздо сложнее. Поэтому особый интерес представляет изучение коричневых карликов — пограничных объектов между звездами и планетами. Их массы лежат в диапазоне от 10–15 до 80 масс Юпитера, т.е. от 1 до 8% массы Солнца. Объекты менее  $10 M_{\text{Ю}}$  считаются планетами, поскольку они неспособны при сжатии разогреться настолько, чтобы вызвать в своих недрах термоядерную реакцию с участием даже самого «легкогорящего» элемента — дейтерия. А объекты с массой более  $80 M_{\text{Ю}}$  разогреваются при сжатии так сильно, что в их ядре загорается водород, а это уже признак нормальной звезды.

До сих пор было обнаружено несколько десятков одиноч-



Еще заметный коричневый карлик TWA-5B (вверху) — спутник яркой двойной звезды TWA-5A (внизу), компоненты которой неразличимы по отдельности. Фотография получена телескопом VLT/Кьюен 21 февраля 2000 г. Лучи от яркой звезды вызваны рассеянием света на элементах конструкции телескопа (ESO Press Photo 17a/00).



ных коричневых карликов и только три — в составе двойных звездных систем: Gl 229 B, Gl 570D и G 196-3 B. Как известно, двойные звезды очень информативные системы: взаимное движение компонентов позволяет определять их массы, а если они периодически затмевают друг друга, то и размеры. Но очень непросто обнаружить коричневый карлик рядом с нормальной звездой: как бы слабо она ни светила, все равно коричневый карлик значительно более тусклый объект и рядом с ней почти неразличим. Ситуация несколько улучшается при наблюдении в инфракрасном диапазоне — именно на него приходится максимум излучения коричневого карлика с температурой поверхности всего около 2000 К. Важно и то, что молодые коричневые карлики значительно ярче «пожилых»: ведь запасы дейтерия малы, а другое ядерное топливо им недоступно; быстро покончив с дейтерием, коричневый карлик начинает остывать и меркнуть. Поэтому исследовать его удобнее в молодом возрасте. Но как отыскать молодой коричневый карлик, да еще в составе двойной звезды?

Группа астрофизиков из Германии и США нашла такой способ. В расчет было взято три обстоятельства: в двойной системе оба компонента имеют одинаковый возраст; коричневый карлик можно заметить только рядом с неяркой маломассивной звездой; на большом расстоянии от Солнца коричневый карлик вообще невозможно заметить. Следовательно, поиск нужно вести рядом с молодыми маломассивными звездами в окрестности Солнца. Таких звезд не очень много, да и опознать их довольно легко. Среди ма-

ломассивных звезд, удаленных от Солнца не более чем на 100 пк (около 300 св. лет), отобрали те, которые заметил рентгеновский телескоп спутника «ROSAT»: звезды-карлики только в первые 100 млн лет своей жизни заметно излучают в рентгеновском диапазоне (звезды типа Т Тельца), позже они «успокаиваются». Следующий шаг — поиск рядом с этими звездами слабеньких компаньонов. Затем необходимо убедиться, что это действительно спутники, а не случайные далекие звезды. Для этого нужно понаблюдать их в течение нескольких лет: если перемещаются по небу вместе, значит, соседи.

Эта методика привела в 1998 г. к обнаружению [2] коричневого карлика TWA-5 B. Название указывает, что он спутник (B) звезды N5 из группы светил вокруг известной переменной звезды TW Гидры (TW — стандартное обозначение переменной звезды, а TWA означает «TW Association»). Как оказалось, TWA-5 B — спутник не одиночной, а двойной звезды, компоненты которой имеют массы по 0.75 масс Солнца каждый. Эта система удалена от нас на 180 св. лет. TWA-5 B обращается вокруг своего двойного соседа с периодом около 900 лет на расстоянии около 110 а.е.

Изучать TWA-5 B очень трудно: его блеск в 100 раз слабее, чем у соседей, а угловое расстояние между ними всего 2". Поэтому TWA-5 B исследовали с помощью лучших телескопов планеты: Космического телескопа им.Хаббла (США) и 8.2-метровых телескопов VLT Европейской южной обсерватории в Чили. При этом телескоп VLT/Кьюен достиг рекордной четкос-

ти — ведь размер изображения звезды составил всего 0.18". В спектре TWA-5 B, отнесенном к типу M9, обнаружались сильные молекулярные линии (TiO и VO), типичные для атмосфер самых холодных звезд: действительно, температура в его атмосфере всего около 2500 К. Однако в спектре видна линия излучения водорода (H<sub>α</sub>); это значит, что над плотной холодной фотосферой находится довольно горячая хромосфера — типичный признак молодых звезд.

Объект TWA-5 B имеет массу от 15 до 40 M<sub>J</sub>; в этом смысле среди коричневых карликов он ближе к планете, чем к звезде. Возраст его около 12 млн лет; столь же молода и входящая с ним в систему двойная звезда. Астрономы чрезвычайно рады такой находке: ведь перед ними не «готовые», а еще только формирующиеся звезды. Особенности спектра показывают, что коричневый карлик TWA-5 B слишком «толст» для своей массы; видимо, он еще продолжает сжатие и не достиг равновесного состояния.

Ободренные удачей, астрономы продолжили поиск спутников у близлежащих звезд и на угловом расстоянии 2.5" от звезды TWA-7 нашли в 100 тыс. раз более слабую звездочку. К сожалению, выяснилось, что это не настоящий спутник, а случайное изображение очень далекой звезды. Но астрономы не расстроились, главное — они научились обнаруживать очень маленькие спутники рядом с яркими светилами. Значит, скоро удастся увидеть и планеты у других звезд; пока их обнаруживают только по влиянию, которое они оказывают на движение самой звезды. ■

## Литература

1. Сурдин В.Г. Коричневые карлики: не звезды и не планеты // Природа. 1999. №7. С.3—12.
2. ESO Press Release 16/00. 21 July 2000.

# Ринхолиты — знакомые и неожиданные

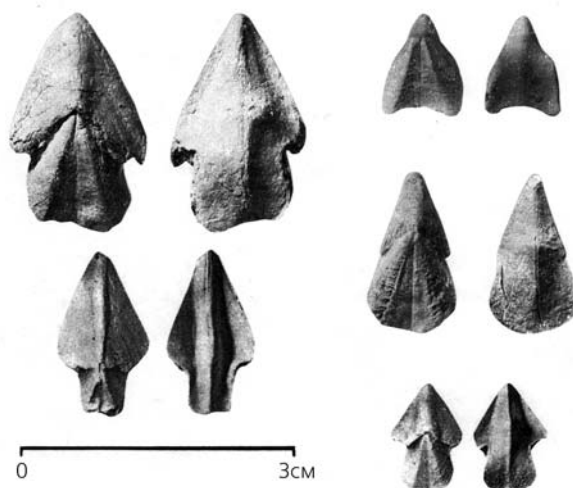
В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Московская государственная геологоразведочная академия

**Р**инхолиты (*Rhyncholithes*; от греч. ρησυχητος — рыло, морда и λιθος — камень), обызвествленные кончики верхней челюсти головоногих моллюсков, описываются уже на протяжении более полутора столетий, однако и до сего времени — это одна из наиболее загадочных групп ископаемых органических остатков.

Во всем комплексе вопросов, связанных с изучением ринхолитов, наиболее дискуссионным всегда оставался их систематический статус. Не вызвала сомнения лишь принадлежность окаменелостей, относимых к роду *Rhyncholites*, вымершим наutilusоидеям. Они характеризуются таким же строением, что и обызвествленный кончик верхней челюсти современного наутилуса. Систематика остальных ринхолитов искусственна. Их точная принадлежность конкретным таксонам головоногих моллюсков по-прежнему окутана тайной. В разное время ринхолиты считали частью челюсти аммонитов, белемнитов, наутилоидей или ископаемых бесскелетных головоногих. Но не было ни одной находки, надежно доказывающей принад-



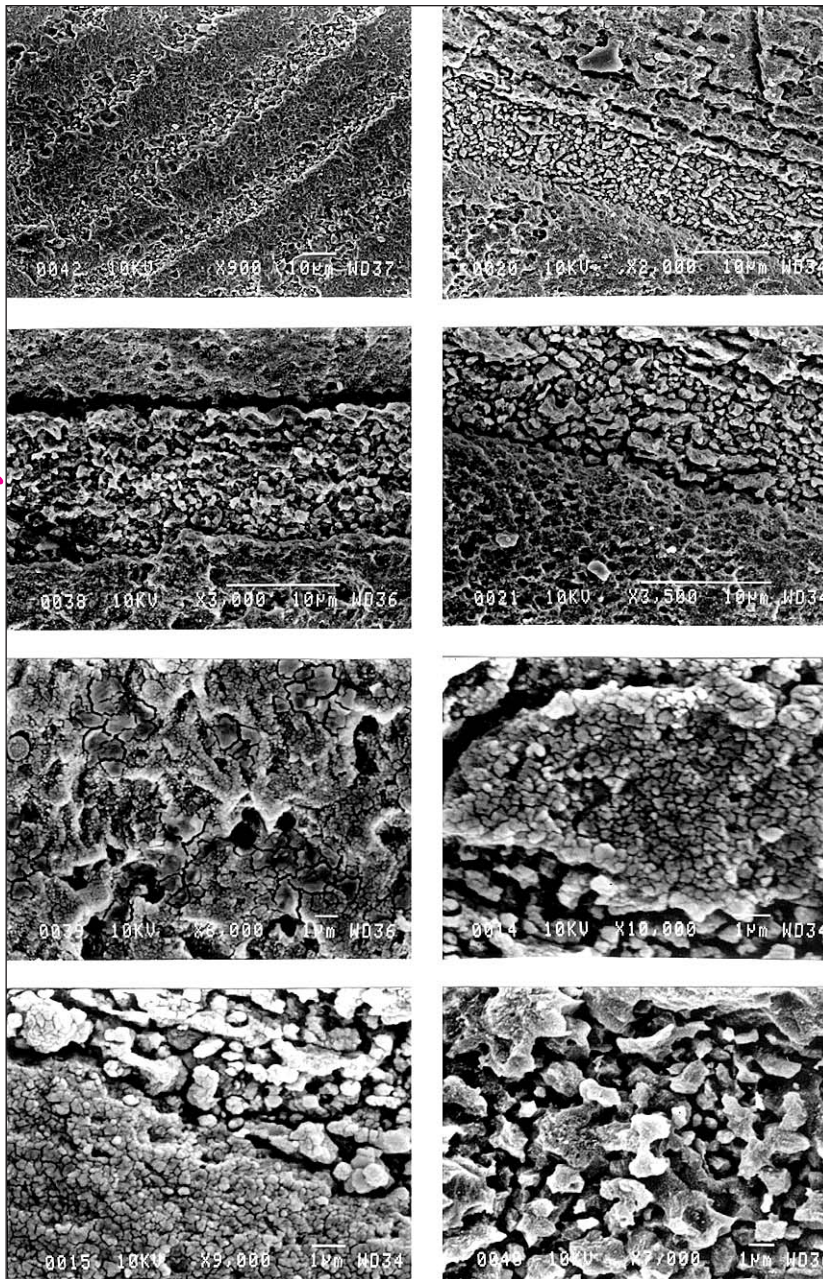
Ринхолиты — представители проблематичных ископаемых остатков.

лежность «ненаутилоидных» ринхолитов определенному организму. Кроме того, некоторые ринхолиты обнаружены в породах раннеэоценового возраста (около 15 млн лет назад), когда ни аммонитов, ни белемнитов уже не существовало. Тем не менее уникальные находки аммонитов с обызвествленными кончиками челюстей показали, что часть ринхолитов, не похожих

на типичных «наутилоидных», вероятно, могла принадлежать и им [1, 2]. Все-таки нельзя отбрасывать факт совпадения времени существования аммоноидей и ринхолитов «не ринколитовой» группы.

Таксономическое разнообразие ринхолитов, несмотря на многолетнюю историю изучения данной группы ископаемых остатков, невелико. На сегодняшний день установ-





Микрофотографии ринхолитов. Микроструктура — возможный ключ к решению вопроса об их природе.

Фото автора

лены и в целом общеприняты 13 родов, которые довольно легко отличаются друг от друга по строению передней части — капюшона, выступавшего из роговой челюсти, и задней его части — рукоятки, крепившей ринхолит к челюсти. Почти все они были установлены

в XIX и начале XX в. Сейчас известно более 200 видов и форм, описанных по правилам открытой номенклатуры, большая часть которых происходит из раннемеловых (около 130 млн лет назад) отложений Западной Европы. В основу выделения видов положены

детали строения капюшона и рукоятки, а также пропорции разных частей ринхолита. При этом, конечно, нет полной уверенности в том, что отдельные виды не представляют собой результат изменчивости, характерной для ринхолитов.

Микроструктура ринхолитов долго не была изучена, хотя исследование минерализованных скелетных остатков — важное и перспективное направление морфологического анализа. Совершенно новые возможности открыло применение в середине 60-х годов XX в. растровой электронной микроскопии, позволившей получить данные, о которых палеонтологи в прошлом не могли даже мечтать.

Наиболее изучена структура скелетных образований моллюсков (у них выявлено максимальное среди всех беспозвоночных разнообразие микроструктурных типов) и брахиопод. Несмотря на некоторые черты сходства, конкретные группы беспозвоночных характеризуются яркими индивидуальными особенностями в степени распространенности и сочетании различных микроструктурных типов.

У головоногих моллюсков стенка раковины обычно состоит из трех слоев: тончайшего наружного органического — периостракума (в ископаемом состоянии, как правило, не сохраняющегося), среднего — фарфоровидного, образованного из конхиолина (рогового вещества белкового характера) и округленных крупинок арагонита, и внутреннего — перламутрового, сконструированного из тонких параллельных пластинок конхиолина и арагонита.

Стенка раковины двустворчатых моллюсков с поверхности также сложена периостракумом. Под ним обычно развивается призматический слой, в основном сложенный каль-

цитом. Призмы имеют самую различную ориентировку. Некоторые же состоят из арагонитовых волокон и разделены тонкими прослойками органического вещества. При этом в каждой призме волокна располагаются так, что их длинная ось почти параллельна оси призмы и перпендикулярна поверхности нарастания. Внутри слоя призмы сменяются радиальными удлиненными кристаллами кальцита, а затем арагонита. Следующий слой — перламутровый, или пластинчатый, состоит из мельчайших псевдошестиугольных листочков арагонита, которые чередуются с прослойками конхиолина.

У замковых брахиопод раковины характеризуются кальцитовым составом. Их наружная поверхность сложена тонким периостракумом, под ним обычно находится одинарный или двойной мелкокристаллический (зернистый) слой. Затем так называемый фиброзный слой, состоящий из длинных, тонких призматических волокон кальцита — фибр, расположенных под небольшим углом к поверхности раковины. Основания их образуют на внутренней поверхности створок своеобразный сетчатый орнамент, напоминаю-

щий мозаичный рисунок змеиной чешуи. Иногда в пределах фиброзного слоя наблюдаются разноориентированные «пакеты» фибр. Внутренний призматический слой раковины многих замковых брахиопод в ряде случаев не самостоятелен, а слагает линзы в фиброзном слое.

Фосфатные раковины беззамковых брахиопод имеют другое строение. Они состоят из почти параллельных поверхности створок протяженных и тонких органоминеральных слоев (в органической матрице заключены мельчайшие игольчатые кристаллы фосфата кальция), чередующихся с органическими слоями [3].

Мы провели серию исследований строения ринхолитов [4, 5, 6] на сканирующем электронном микроскопе «Jeol». Удалось выделить три группы ринхолитов, обладающих различным строением.

К первой относятся формы, состоящие из многократно чередующихся однородных слоев зернистого (толщиной 13.2—17.2 мкм) и скрытокристаллического (толщиной 74.0—87.0 мкм) кальцита. Зернистый кальцит сложен изометричными зернами размером 7.0 мкм. Скрытокристаллический кальцит представля-

ет собой вещество с причудливым орнаментом из 2 мкм изометричных полигональных объектов, которые в свою очередь состоят из мельчайших кристаллических элементов — тесно расположенных округлых бугорков.

Ко второй группе можно отнести ринхолиты, состоящие из многократно чередующихся однородных слоев скрытокристаллического (толщиной до 29.0 мкм) и микрокристаллического (толщиной 0.8—6.3 мкм) кальцита. Последний сформирован угловатыми кристалликами.

В третью группу выделены ринхолиты, имеющие наиболее примитивное строение. Они состоят исключительно из слоев скрытокристаллического кальцита толщиной 33.3 мкм.

Полученные данные показали, что структуры ринхолитов, относящихся к разным таксонам, существенно отличаются. Подобные исследования помогут решить актуальный вопрос о степени структурной однородности этой группы окаменелостей и наконец-то пролить свет на их природу и родственные отношения между имеющими ринхолиты головоногими моллюсками. ■

## Литература

1. Tanabe K., Fukuda Y., Kanie Y., Lehmann U. // *Lethaia*. 1980. V.13. P.157—168.
2. Tanabe K., Fukuda Y. // *Lethaia*. 1987. V.20. P.41—48.
3. Ушатинская Г.Т. Брахиоподы с фосфатной раковиной // *Природа*. 1991. №11. С.83—88.
4. Комаров В.Н. // *Палеонтол. журн.* 1998. №6. С.30—32.
5. Комаров В.Н. *Определитель ринхолитов Юго-Западного Крыма*. М., 1999.
6. Комаров В.Н. // *Изв. вузов. Геология и разведка*. 2000. №4. С.154—157.



### Акустическая фокусировка усилила землетрясение

В районе калифорнийского пос. Нортридж в 1994 г. случилось сильное землетрясение магнитудой 6.7 по шкале Рихтера<sup>1</sup>. Несколько странном показалось тогда то, что и в г. Санта-Моника, расположенном в 21 км от эпицентра, отмечались значительные разрушения, по интенсивности такие же, как вблизи центра события.

Эту аномалию изучала группа сейсмологов, в том числе П.М. Дейвис и Л. Кнопофф (P.M. Davis, L. Knopoff). Проанализированные ими сейсмограммы афтершоков (повторных толчков) указывают: основные повреждения зданий и сооружений в Санта-Монике связаны с приходом сейсмических волн не напрямую от эпицентра, а тех, что были сфокусированы акустическими линзами, которые расположены примерно в 3 км под поверхностью и порождены здешними разломами земной коры (Science. 2000. V.289. №5485. P.1746. США). Отмечается, что наибольшее усиление толчку придавали исходившие от эпицентра высокочастотные волны; низкочастотные практически не оказывали воздействия.

Все это опровергает распространённое мнение, согласно которому главные повреждения городским зданиям наносятся вблизи эпицентра, а по мере удаления от него разрушительный эффект убывает. Если же сильно страдают застройки далеких районов, то это чаще всего приписывают местным факторам, например свойствам здешнего грунта. Проведённое исследование показало, что в районе эпицентра и под Санта-Моникой грунты практически идентичны, равно как и в тех, столь же удалённых от эпицентра районах, которые

понесли значительно меньшие потери.

Теперь необходимость учитывать при моделировании подобных событий вклад высокочастотных колебаний, сильно подверженных фокусировке в глубинных акустических линзах, у специалистов не вызывает сомнения.

### Ла-Нинья: похолодание и обилие осадков

Последнее по времени явление Ла-Нинья (похолодание центральной акватории Тихого океана и атмосферы над нею) окончательно вступило в силу к середине 1998 г., захватило весь 1999-й и перешло в 2000-й. Подобные длительные похолодания отмечались и ранее, хотя не часто (1954—1957, 1973—1976 и 1983—1986). Развитие нынешнего Ла-Нинья шло аналогично событию 1983—1986 гг., но было намного интенсивнее (WMO Statement on the Status of the Global Climate in 1999. 2000. WMO №913. P.8. Швейцария).

Под влиянием Ла-Нинья вторжение холодных и влажных воздушных масс в период между ноябрем 1998-го и мартом 1999-го привело к чрезвычайно обильным осадкам на юго-западе Канады и северо-западе США: в ряде районов они на 150—200% превышали сезонную норму. Снежный покров в прибрежных горах был значительно более мощным, чем обычно (на горе Бейкер в штате Вашингтон он оказался рекордным для всей территории США, достигнув почти 29 м).

Начало 1999 г. отличалось чрезвычайно дождливой погодой во многих районах Фиджи, что привело там в январе к наводнениям. Больше осадков, чем обычно, выпало над островами Карибского моря, Индонезией, Северной и Западной

Австралией. Прохладную погоду в середине 1999 г. на западном побережье Южной Америки также следует отнести на счет Ла-Нинья.

### Война с астрономами из-за белок

15 лет назад Университет штата Аризона решил соорудить на горе Грейам сеть из семи крупных телескопов. Однако общественные защитники природной среды заявили решительный протест: по их мнению, строительство и эксплуатация телескопов с их коммуникациями приведут к гибели местной немногочисленной популяции рыжей белки, которая обитает на склонах и вершине горы, образуя легко уязвимый «островной» ареал (Science. 2000. V.289. №5477. P.228. США).

В 2000 г. результаты проведенного обследования показали, что сооружение первых трех телескопов никакого заметного ущерба популяции белок не принесло. Колебания их численности (33 особи в 1989 г., 22 — в 1995—1996-х, 102 — в 1999-м) объясняются естественными причинами — урожаями (или неурожаями) еловых, пихтовых и других шишек (в качестве контрольных участков использовались незатронутые строительством склоны).

Тем не менее природоохранные организации просили судебные органы запретить прокладку 37-километрового подземного кабеля, предназначенного для энергоснабжения телескопов. В ответ астрономы приступили к сооружению на горе крупного бинокулярного телескопа стоимостью 83 млн долл. США. 15-летняя «битва» защитников белок с исследователями Вселенной продолжается...

<sup>1</sup> См.: Землетрясение в Нортридже — в центре внимания специалистов // Природа. 1995. №4. С.117—118.

# Кровавая трагедия в заповеднике

О.И.Шутова  
Москва

20 февраля 2001 г. в российском представительстве Всемирного фонда дикой природы (World Wide Fund for Nature — WWF) состоялась пресс-конференция, посвященная событию, которое не может оставить равнодушным ни одного здравомыслящего человека. В январе—феврале текущего года со стороны Монголии на территорию России проникли десятки тысяч дзеренов. Эта грациозная антилопа была почти полностью истреблена у нас в середине XX в. и занесена в «Красную книгу России», а потому охота на дзерена строго запрещена. Тем не менее беззащитных животных в примыкающем к границе Даурском заповеднике и за его пределами встретили браконьеры, расстрелявшие к концу февраля уже несколько тысяч животных. Самое прискорбное, что в браконьерской охоте, по свидетельству инспекторов и чабанов, участвовал недавно назначенный директор заповедника.

Монгольский дзерен, или зобастая газель (*Procapra gutturosa*), относится к особому роду\* из семейства полоро-

\* К этому же роду относится тибетский дзерен, населяющий южные степи и полупустыни Тибетского нагорья.

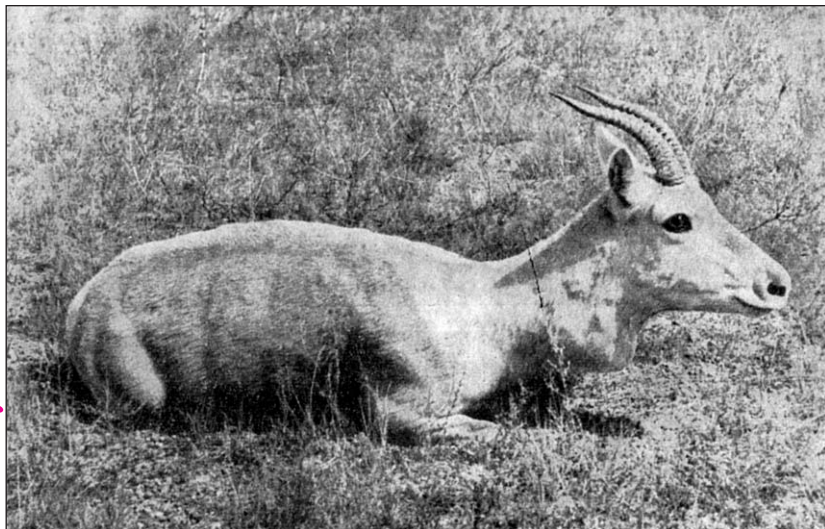


Подросток дзерена.

Фото В.Е.Кириллюка

(Цветные иллюстрации предоставлены WWF.)

© О.И.Шутова



Взрослый самец дзерена.  
(Черно-белые фотографии из архива «Природы».)

гих отряда парнокопытных. Внешне он напоминает джейрана, от которого отличается более плотным сложением. Длина тела дзерена 100–145 см, высота в холке 54–58 см, масса самцов 40–45 кг (самки мельче — до 32 кг). У этих газелей S-образные ноздри и острые длинные (до 12 см) уши. Главное же отличие дзерена — сильно развитая у самцов гортань, создающая впечатление «зоба» (отсюда русское название). Голова самцов украшена довольно длинными (до 28 см) лировидными рогами, которые, как у всех представителей семейства, полые, держатся на выростах лобных костей, подобно чехлам. Окраска тела у дзеренов меняется в зависимости от сезона. Летом они серовато-желтые под цвет сухой ковыльной степи, а зимой — почти белые, поэтому монголы эту газель называют «цаган дээр» («белый дзерен»). Вокруг короткого белого хвоста с буро-коричневым кончиком, который дзерен, в отличие от джейрана, на бегу держит опущенным, большое белое зеркало. Морда в основном тоже белая, лишь ото лба к носу тянется коричневая полоса,

да щеки слегка желтоватые.

Дзерен — выносливое и быстрое животное: со скоростью 60–70 км/ч без видимого напряжения преодолевает 12–15 км. Бежит он галопом, вытянув морду вперед (а не пригибая к земле, как это делают сайгаки), и время от времени легко подпрыгивает. Дзерен довольно осторожен: когда стадо пасется в высоких зарослях, самцы всегда начеку: поднимаясь на задние ноги и балансируя передними, они вытягивают шею и внимательно осматриваются.

Гон у дзеренов начинается в конце ноября и продолжается весь декабрь. В это время можно услышать громкие гортанные рывкающие звуки, которые издают самцы, преследующие самок. Гаремов у самцов нет, но, поскольку в стадах преобладают самки, на одного самца обычно приходится две-три самки. Тем не менее самцы дерутся за свою избранницу в турнирных боях.

Самки становятся половозрелыми, как правило, на третьем году жизни. Беременность длится около шести месяцев. Начиная с последних чисел апреля беременные самки уди-

няются в понижениях среди холмов, а на открытых равнинах остаются только самцы и яловые самки. В таких «родильных домах» обычно собираются по 20–30 рожиц, но случается — и до тысячи. В июне — июле на свет появляется, как правило, один теленок, изредка — два [1]. Как и у других газелей, новорожденные лежат на голой земле, затаившись среди травы или в тени кустарника. Только через неделю малыши начинают сопровождать мать, однако при опасности затаиваются, поскольку еще не достаточно окрепли. Основной враг дзеренов в природе — волк, особенно много антилоп погибает зимой при многоснежье. На новорожденных нападают лисицы, корсаки, манулы и беркуты.

Дзерены обычно держатся группами от нескольких десятков до 2–3 тыс. особей и большую часть года пасутся в ковыльных и пустынных степях, на холмистых равнинах и пологих склонах сопок. В поисках корма зобастые газели (в их рацион входит около 20 видов растений) постоянно кочуют, редко задерживаясь в одном районе более двух дней. Во второй половине зимы, когда в однообразных ковыльных степях не хватает корма, они перемещаются в разнотравные степи. В годы необычно обильных снегопадов дзерены собираются в большие стада и быстро мигрируют в поисках более благоприятных мест, при этом немало животных погибает.

В прошлом дзерен был распространен от Чуйской степи Юго-Восточного Алтая до равнин Восточной Монголии. К северу они проникли до Тувы и Забайкалья, в том числе и в Даурские степи. Южная граница ареала почти совпадала с южным пределом ковыльковых и ковыльково-луковых пустынных степей и проходила по северным склонам Монгольского и Го-





*Пологие сопки в зоне полупустынь — местообитание дзерена.*

бийского Алтая, а также чуть севернее китайской р.Хуанхэ.

В конце 50-х годов XX в. численность дзерена по всему ареалу была еще довольно высокой: примерно 1.5 млн особей, из них около 1 млн обитало в Монголии. К началу 60-х годов поголовье резко сократилось, даже в Монголии осталось не более 300—400 тыс. [2]. В последующие 10—15 лет ареал и численность дзерена продолжали уменьшаться, а в России в 70-х годах осталось всего около 200 особей. Необходимо было разработать срочные меры по восстановлению популяции этих копытных, оказавшихся на грани исчезновения. В связи с этим в 1974 г. начала работать Советско-Монгольская экспедиция [3] под руководством известного зоолога А.Г.Банникова — в то время члена редакционной коллегии и постоянного автора нашего журнала. В результате в Монголии про-

блему решили: была упорядочена охота и созданы условия для нормального воспроизводства животных. В частности, в Гоби организован заповедник площадью 4 млн га, который стал убежищем не только для дзеренов, но и других редких видов животных (кулана, лошади Пржевальского, дикого верблюда и др.). Теперь в Монголии дзерен — обычный вид, на которого даже разрешена охота, а вот в России он по-прежнему редок. Правда, с 1992 г. на территории Даурского заповедника стали появляться небольшие группы этих удивительно изящных антилоп, а некоторые из них вновь выводят потомство в пределах охранной зоны. Их численность летом 1993 г. составила около 10, в 1994-м — 50—60, в 1995-м — 25—30, в 1996-м — 30—35, в 1997-м — 20—25 особей\*.

\* Снижение числа животных в 1995—1997 гг. вызвано браконьерством и весенними пожарами, охватившими большие территории в сопредельной части Монголии и в заповеднике.

И вот в последние два года на территорию Читинской обл. стали заходить многотысячные стада мигрирующих животных. Нынешней зимой выпало невиданно много снега, особенно в Монголии. Голод заставил дзеренов отправиться на поиски корма в Забайкалье. Более 40 тыс. истощенных дальним переходом животных оказались на территории одного из лучших в совсем недавнем прошлом заповедника России, где им ничто не должно было угрожать. Однако в очередной раз дзерену не повезло.

Браконьеры хладнокровно отстреливают животных, набивая ими машины, а государственные структуры, призванные обеспечивать охрану дзерена, оказались беспомощны из-за отсутствия денег на топливо, запчасти и еду. Вне заповедника (дзерены рассредото-





Конфискованные у браконьеров ружья и туши дзеренов.

Фото Е.В.Пал

чились по огромной территории Читинской обл.) с браконьерами борются сотрудники Госохотнадзора, но в их полномочия входит лишь конфискация оружия и трофеев, призвать же преступников к ответственности они не вправе. В самом заповеднике между новым директором и сотрудниками возник конфликт, мешающий эффективной работе инспекторов — одних из лучших в системе заповедников.

Проанализировав ситуацию, WWF принял решение оказать целевую финансовую поддержку читинскому Охотуправлению, а в декабре

2001 г. начать новый проект (подобных проектов в WWF уже 70) по сохранению Даурской степи, одной из задач которого будет защита дзерена.

Истребление зубастой газели на территории России — это нарушение российского законодательства и двустороннего российско-монгольского соглашения по охране природы. Если кровавую бойню не удастся остановить, России грозит потеря авторитета, а самое главное — будет упущен данный природой шанс естественного восстановления исчезающего вида. Кроме того, будет подорвана

вера инспекторов в необходимость выполняемой ими работы, а ведь именно они за нищенскую зарплату по несколько суток живут в машинах на суровом морозе и, рискуя жизнью, ловят и обезоруживают браконьеров. Но хочется надеяться на лучшее, ибо, по словам почетного президента WWF, Его Королевского Высочества принца Филиппа, Герцога Эдинбургского, «только Россия еще способна сегодня потрясти богатством своего природного наследия. Сбереечь эту удивительную природу — вот шанс выжить будущим поколениям». ■

## Литература

1. Банников А.Г. // Тр. Монг. комис. АН СССР. 1954. Вып.53.
2. Даш Я. Проблема восстановления промысловых запасов тарбагана и дзерена в Монгольской Народной Республике // Тр. IX Междунар. конгр. биологов-охотоведов. М., 1970.
3. Жирнов Л.В., Винокуров А.А. Дзерен // Природа. 1975. №8. С.45—49.

# Волк в Йеллоустоуне

Н.И.Чесноков,  
кандидат сельскохозяйственных наук  
Дубна

Крупнейший в США Йеллоустоунский национальный парк, созданный в 1872 г. на площади 8887 км<sup>2</sup>, расположен на стыке трех штатов — Айдахо, Монтана и Вайоминг. Этот первый в Северной Америке национальный парк был организован для восстановления поголовья бизонов, истребленных к тому времени в дикой природе. Племенное стадо пришлось создавать из полуприрученных животных, купленных у фермеров. Йеллоустоунский парк блестяще справился с нелегкой задачей.

Сейчас бизонов в парке около 10 тыс., а по всей стране больше 20 тыс. Поголовье существует в условиях полной заповедности и, казалось бы, должно процветать, однако оно стало вырождаться, а, кроме того, из-за перенаселения истощилась кормовая база бизонов. В сходном положении оказалась и популяция лосей, численность которой превысила 20 тыс. голов. Зоологи пришли к выводу, что необходимо регулировать численность копытных, возвратив в парк серого волка (*Canis lupus*), истребленного в США в начале XX в. После долгих обсуждений план специалис-



«Поющий» волк. Своей «песней» он сообщает сородичам, что территория уже занята.

© Н.И.Чесноков



тов был принят и утверждена Федеральная программа по восстановлению волка. Хищников стали выпускать в места их прежнего обитания. В 1995—1996 гг. в Йеллоустоунский национальный парк завезли 33 волка, отловленных в Канаде.

Одновременно с этим группой биологов под руководством Д.Смита и при участии директора Института исследований экосистем Йеллоустоунского национального парка Р.Крэбтри, занимающегося этой проблемой более 10 лет, была разработана научная программа «Волк Йеллоустоуна». Главная цель ее — изучить влияние хищника на экосистемы парка.

Возвращение волков в Йеллоустоун было небезоблачным — воспротивились местные земледельцы и скотоводы. Судья соседнего с парком городка Каспера (штат Вайоминг) издал вердикт, который гласил, что завезенные волки должны быть удалены. Поскольку была введена компенсация скотоводам за возможный ущерб от волков, а курьезный вердикт судьбы отменен в порядке апелляции, хищников оставили обживать Йеллоустоун.

Более полувека они отсутствовали на его территории, и их место заняли койоты (*Canis latrans*). За это время они чрезвычайно размножились, йеллоустоунская популяция оказалась самой крупной в стране. Возвращенные в свой ареал волки не церемонились с близкими родичами. Всего через два года поголовье койотов сократилось наполовину.

Эти более мелкие родственники не могут противостоять серым хищникам и вынуждены покидать обжитые территории. В результате в Йеллоустоуне снизилась не только численность койотов, но и сократилась площадь заселенной ими территории парка. Так, в одной отдален-

ной долине, называемой американским Серенгети, по данным Крэбтри, обитало 13 семей койотов общей численностью 80 особей, а два года спустя после появления там волков осталось девять семей из 36 животных. Теперь эти луговые волки держатся преимущественно по окраинам участков, занимаемых серыми хищниками, и подъедают в основном остатки их жертв. Но пировать на местах волчьих трапез не всегда безопасно: можно угодить в клыкастую пасть хозяина. Однако, вопреки распространенному мнению, для волка койот — не такая уж легкая добыча. При весе втрое меньшем он проворнее, взять его не просто. Похоже, численность койотов уменьшается не столько от прямого истребления волками, которые нападают на них лишь имея численное превосходство, сколько за счет вытеснения из угодий.

Главный объект охоты волков — лоси. Основное их поголовье сосредоточено в северной части парка. В 1996 г. добычей реинтродуцированных хищников стали 124 лося, два бизона, да еще несколько оленей и антилоп. По данным Д.Смита, волчья семья в среднем убивает лося раз в пять дней, причем в основном самки, очень молодых или старых, а ранней весной — нередко и лосят. Охота на взрослых сохатых не всегда успешна. Из 100 преследуемых животных волки добывают двух или трех. Лось, который обороняется, стоя на месте, чаще уцелевает, чем убегающий. По наблюдениям Смита, эти копытные изменили свое поведение: стали осторожнее, меньше пасутся, больше стоят. Но из-за плохого питания они зимой быстрее ослабевают и становятся более легкой добычей для волков. Однако те не нанесли существенного ущерба поголовью лосей в Йеллоустоуне, хотя не только истребля-

ют их, но и вытесняют из речных долин, богатых кормом — ивой и осиной, чем способствуют, кстати, сохранности этих видов.

Появившиеся в парке волки заметно облегчили жизнь тех животных, которые не прочь полакомиться на дармовщину. На остатках волчьей трапезы, а это существенно больше половины туши заваленного лося, нередко одновременно пируют несколько койотов, медведь гризли, лисица, бывает, тут же кормятся до восьми воронов и какой-нибудь из орлов. Недоеденная волками туша в 200—300 кг исчезает за короткое время полностью.

Особенно благотворно сказалось присутствие волков на пернатых и наземных животных, питающихся грызунами, — совах, ястребах, орлах, куницах, барсуках и др. Раньше не менее 75% пойманных всеми хищниками полевых птиц приходилось на долю койотов. А когда их количество в Йеллоустоуне поубавилось, грызуны стали доставаться и другим мышеедам, и их популяции увеличились. Волки охотятся на грызунов редко, им легче добыть в парке крупного зверя — лося, по массе эквивалентного примерно 6 тыс. мышей. Можно представить, сколько энергии и времени потребовалось бы хищникам для их поимки.

Выгоду от волков получил и малочисленный вид — гризли, его численность перестала сокращаться, так как за лето, доедая туши лосей, т.е. потребляя весьма калорийную пищу, медведи нагуливают достаточно жиру, чтобы обеспечить себе безбедную зимнюю спячку. Хорошее питание особенно важно для самок, поскольку именно от него зависит количество и вес детенышей.

Через два года после выпуска волков в Йеллоустоуне их насчитывалось 97 особей, т.е. поголовье утроилось. Крупнее стали семьи — до 15 животных

против обычных для Северной Америки восьми. Произошло это, видимо, потому, что при недостатке корма молодые волки дольше остаются в материнской стае.

Но благоденствие хищников длилось недолго — пока не началось восстановление нарушенного ими равновесия местных биоценозов. Уже в 1999 г. отмечено снижение темпов прироста численности волков. К этому времени насчитывалось 118 особей (или немного больше), которые жили в 12 стаях, в среднем по 10 животных в каждой. Увеличилась гибель молодняка: из 64 родившихся щенят выжило 38. Волки стали воровать щенков койота, что может свидетельствовать об ухудшении кормовой базы. Очевидно, в экосистеме национального парка соотношение между поголовьем лосей и волков приближается к нормальному. Во всяком случае нет оснований опасаться безудержного увеличения числа хищников и истребления ими лосиного стада.

Последствия возвращения волков настолько многообразны, что не все можно предви-

деть. А о каких-то, вероятно, не подозревают и специалисты. Обширный круг функций этого хищника в экосистеме нельзя заменить. Даже главную из них — санитарную — человек не в состоянии осуществить в полной мере. Отстрел копытных, по каким бы критериям он ни проводился, никогда не заменит отбора на выживаемость, производимого волчьим преследованием. А заместить волка в заповедниках и национальных парках, где охота и другая человеческая деятельность запрещены, вообще невозможно.

С истреблением волков экосистемы претерпевают крупные преобразования, изменяющие их внутренние связи и саморегуляцию. В Йеллоустоуне опустевшую экологическую нишу занял койот, не способный воздействовать на копытных так же, как это делает волк. В результате популяции лосей и бизонов лишились мощного регулирующего фактора, произошло перераспределение пищевых связей в биоценозах. Койоты лишали мелких хищников кормового достатка, поедая основную массу мышевидных

грызунов, «отбивали хлеб» у животных-падальщиков.

Вселение волков вызвало быстрые, буквально взрывные изменения в биоценозах Йеллоустоуна: повысилась саморегуляция экосистемы, укрепилось видовое разнообразие, улучшился баланс видов. В популяциях крупных животных — лося, бизона — волки резко усилили естественный отбор и, как это ни странно звучит, способствовали улучшению воспроизводства малочисленного гризли.

Эксперимент по возвращению волка в Йеллоустоун дал уникальную по значимости информацию. Поскольку он был научно подготовлен предшествующими исследованиями местных экосистем, это создало условия для лучшей оценки его результатов. Главный же вывод заключается в том, что возврат волка в экосистему не противоречит охране природы, а способствует этому. ■

**Материалы по исследованию экосистем Йеллоустоунского национального парка размещаются в Интернете на сайте: [www.yellooystone.org](http://www.yellooystone.org)**

### Бандай-сан опять возмущается

На о.Хонсю, всего в 20 км от Токио, возвышается вершина вулкана Бандай (1819 м над ур. м.). Последние 12 лет он вел себя относительно спокойно: в среднем за месяц земля вокруг него содрогалась не более 20 раз, да и то не очень сильно. Однако всего за одни сутки в августе 2000 г. здесь было зафиксировано 416 сейсмических толчков разной интенсивности (Bulletin of the Global Volcanism Network. 2000. V.25. №8. P.6. США). Мелкое сотрясение почвы ощущалось почти постоянно, а в ночь на 16 августа произошло землетрясение

магнитудой 2.9 по шкале Рихтера; местным властям пришлось предупредить жителей и любителей восхождений о возможно опасных последствиях совершающихся событий. В сентябре 2000 г. вулкан несколько успокоился, но это затишье могло быть обманчивым. Недаром японцы с древности прибавляют к его имени уважительную частичку «сан».

По сведениям геологов и геофизиков, Бандай за последние 5 тыс. лет мощно, со взрывами, извергался четыре раза, в том числе в 806 г., что отмечается в древней хронике, и 1888 г. Последний случай накрепко запечатлелся в сознании жителей: северный склон

горы, как ножом срезанный, напоминает им о том, что лавина каменных обломков похоронила тогда все население нескольких деревень, а у подножия горы появились крупные озера.

Специалисты считают, что Бандай возник примерно 40 тыс. лет назад. В то время здесь, у берегов оз.Инавасиро, стоял другой, безымянный, вулкан с подковообразной кальдерой. Затем внутри нее произошел мощный взрыв, а из выбрасываемых вулканом обломков каменных пород начала расти новая огнедышащая гора, ныне грозящая людям очередными потрясениями.



# Молекулярные механизмы генетической изоляции

Б.М.Медников, Е.А.Шубина, М.Н.Мельникова

**Д**арвин не зря назвал свой главный труд «Происхождением видов». Он понимал, что видообразование — основной процесс биологической эволюции. Кажется странным, что в биологии нет до сих пор общепринятого определения вида. Все мы понимаем, что лошадь и зебра, твердая и мягкая пшеницы — разные виды. Но попытки дать определение этой структурной единицы классификации, общее для всей живой природы, наталкиваются на серьезные затруднения.

Термин «вид» впервые был предложен еще Аристотелем как совокупность объектов, объединяемых по сходству. Лишь через 2000 лет, в 1693 г., английский натуралист Дж.Рей придал понятию «вид» биологический смысл. Согласно Рею, биологический вид — это совокупность особей, которые объединяются по двум критериям: практической тождественности морфологических признаков и свободному скрещиванию с воспроизведением признаков в потомстве.

Большинство исследователей теперь приходят к выводу, что морфологический критерий для определения вида не-



**Борис Михайлович Медников**, доктор биологических наук, профессор Научно-исследовательского института физико-химической биологии им. А.Н.Белозерского МГУ. Научные интересы связаны с геностикой, видообразованием, эволюционной генетикой, теорией эволюции.



**Елена Александровна Шубина**, кандидат биологических наук, научный сотрудник того же института. Область научных интересов — изучение структуры и молекулярных механизмов эволюции генома эвкариот, видообразование.



**Марина Николаевна Мельникова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник того же института. Занимается исследованиями молекулярных механизмов эволюции эвкариот, эволюционной генетикой.

достаточен. Генетики склоняются ко второму критерию, исходя из которого следует, что самостоятельность вида поддерживается генетической изоляцией. Н.В.Тимофеев-Ресовский в одной из лекций со свойственной ему экспрессией утверждал, что без генетической изоляции не было бы эволюции — все возникающие виды в результате скрещивания между собой «заболочивались» бы, был бы сплошной *scrambled*, Шалтай-Болтай. Не может быть эволюции без генетической изоляции — ограничения обмена генами между возникающими видами. Это утверждение справедливо, однако существуют разные механизмы, препятствующие межвидовому скрещиванию в природе.

Один из таких механизмов — географическая изоляция, т.е. территориальная разобщенность видов. В 1870 г. М.Вагнер пришел к выводу, что в одном ареале может возникнуть лишь один вид, а стало быть, в разных — разные. Такое видообразование он назвал географическим. Теперь его именуют аллопатрическим (*allos* — другой, *patris* — родина). Дарвин, однако, допускал, что обмен генами может ограничиваться не только географическим разделением популяций-основательниц.

Иногда в изолированном месте обитания из исходного вида возникают целые «рои», или, как их еще называют, «букеты» новых видов. Примеры подобного рода — вьюрки Дарвина с Галапагосских островов, рыбы и ракообразные Байкала, цихлидовые рыбы Великих африканских озер. Все они обитают в одном ареале, не скрещиваясь, поскольку у них выработались специальные механизмы генетической изоляции: размножение в разное время, различия в чертах брачного поведения. Как правило, самцы и самки разных видов просто не заме-

чают друг друга. Однако этот барьер легко преодолеть, например, за счет импринтинга (запечатления). Известно, что в Евразии обитают разные виды уток и в природе они практически не скрещиваются. Но если яйцо одного вида утки подложить в гнездо другого, появившийся на свет утенок будет считать себя представителем вида приемной матери, а став взрослой птицей, будет скрещиваться только с особями, к нему принадлежащими. Иногда дело доходит до парадоксов. К.Лоренц писал, что птенец белого павлина, выросший в питомнике рептилий, потом всю жизнь пытался ухаживать за гигантскими черепаками, не обращая внимания на самых красивых пав. Такая изоляция называется прекопуляционной. Разные виды не образуют гибридов и сохраняют свою самостоятельность, потому что просто не спариваются. Этот способ наиболее распространен у высших организмов, в первую очередь у птиц и млекопитающих.

Однако есть многочисленные случаи, когда такой межвидовой барьер отсутствует, но гибриды тем не менее или не образуются, или бывают бесплодны, т.е. стерильны. Классический пример — стерильность мулов (гибридов от осла с кобылой) и лошаков (родившихся от скрещивания ослицы с жеребцом). Больше всего бывает межвидовых гибридов среди растений и низших животных, скажем, рыб. Почему же такие гибриды бесплодны? Генетики раньше полагали, что дело в разном числе хромосом скрещивающихся видов. У осла, например, 62 хромосомы, у лошади — 64, а в зрелых половых клетках — 31 и 32 соответственно. После их слияния в зиготе окажется 63 хромосомы, которые не могут разделиться поровну при образовании гибридных гамет. Поэтому у гибридного по-

томства половые клетки будут дефектными по числу хромосом, а значит, и нежизнеспособными.

Но это правило далеко не абсолютно. Полная генетическая изоляция между видами с разным числом хромосом вовсе не всегда обязательна. Более того, существуй она, эволюция не могла бы идти — ведь изменение числа хромосом — единичный акт. Если «хромосомная» изоляция была бы абсолютной, особь, подвергшаяся мутации, умирала бы в одиночестве, не оставив потомства.

Мы знаем много разных видов с одинаковым числом хромосом, знаем и внутривидовые формы с разным числом таковых. Свести генетическую изоляцию к колебанию хромосомных чисел не представляется возможным.

В нашей лаборатории уже много лет ведутся работы по поиску какого-нибудь молекулярного критерия вида. Однако все методы, в которых использовалась ДНК, были или недостаточно чувствительными, или чрезмерно трудоемкими. Для целей систематики рекомендовать их было нельзя.

Помощь пришла к нам, когда были открыты рестриктазы — ферменты, расщепляющие нити ДНК по строго определенным участкам нуклеотидной последовательности. Один из таких ферментов — рестриктаза *EcoRI* (впервые выделенная из бактерии *Escherichia coli* штамма R). Она расщепляет ДНК на участках ГААТТЦ между гуанином (Г) и аденином (А). После обработки раствора ДНК этой рестриктазой получается смесь фрагментов разной длины, которую разделяют электрофорезом в агарозном или полиакриламидном геле и прокрашивают специальным флуоресцентным красителем. В результате в пленке геля образуется набор полос — своеобразный спектр фрагментов

разной длины, которые далее можно идентифицировать, если в том есть необходимость, или сравнивать спектры разных видов.

С помощью такого рестриктазного анализа получено много данных по сходству и различиям отдельных генов, сателлитных и митохондриальных ДНК, ДНК вирусов и бактерий. Однако довольно затруднительно использовать этот метод для выяснения родства организмов по ядерной ДНК. Связано это с тем, что большая часть геномной ДНК животных, растений и грибов представляет собой уникальные нуклеотидные последовательности. Так как места рестрикции в них распределяются нерегулярно, в продуктах расщепления образуется смесь фрагментов, которые четко отделить друг от друга электрофорезом невозможно.

Кроме уникальных последовательностей, в ДНК имеются и многократно повторяющиеся, или просто повторы. Они различаются длиной, расположением в геноме и количеством копий (их бывает от нескольких десятков до миллиона). Именно множественность копий повторяющихся последовательностей делает разделение рестриктазных фрагментов ядерной ДНК успешным. Заметим, функция большинства повторов неизвестна, более того, существует предположение, что они не играют никакой роли. В нашей лаборатории высказывалась гипотеза об их регуляторной функции, которую можно уподобить артиклям, окончаниям и предлогам в письменном тексте.

Первые два автора (Медников и Шубина) разработали метод, позволяющий использовать рестриктазный анализ ядерной ДНК. После предварительного удаления уникальных последовательностей повторы подвергались ферментативному расщеплению

и разделению электрофорезом. Этим методом была исследована ДНК тихоокеанских лососей (кеты, горбуши, чавычи, нерки, кижуча и симы) в расчете отыскать показатель, который позволил бы отличить одно нерестовое стадо рыб от другого (т.е. заходящих на нерест в разные реки). Но результат оказался противоположным: набор рестриктазных фрагментов повторяющихся последовательностей ДНК для каждого вида рыб был специфичным и не зависел от пола, возраста и принадлежности к нерестовому стаду. Напрашивается вывод, что найден абсолютный критерий вида — мечта каждого систематика.

В принципе любой вид дальневосточных лососей, вместо длинного морфологического описания, можно охарактеризовать спектром рестриктазных фрагментов. Для кеты он выглядит как Msp1 — 100, 250, 400, 550, 650, 800; Pst1 — 100, 250, 400, 550, 650, 800, 1700; Alu1 — 100, 250, 400, 550, 650, 800 (аббревиатурой обозначены названия рестриктаз, числами — количество пар нуклеотидов, т.е. длина фрагментов). Примечательно, что этот спектр был одинаковым у кеты и из рек Приморья, и из Анадыря. У горбуши он другой: Msp1 — 200, 420, 640; Pst1 1250, 1300, 1700, 2350, 2650; Alu1 — 250, 350, 520, 630, 680.

Результат нас не только удивил, но и огорчил, потому что мы искали генетические различия стад внутри одного вида. Да и в качестве видового критерия спектр оказался мало пригоден, так как его определение по нашей методике было довольно трудоемким. Это, кстати, ахиллесова пята только что разработанных новых методов. Впервые проложенная дорога оказывается самой трудной и нередко забывается.

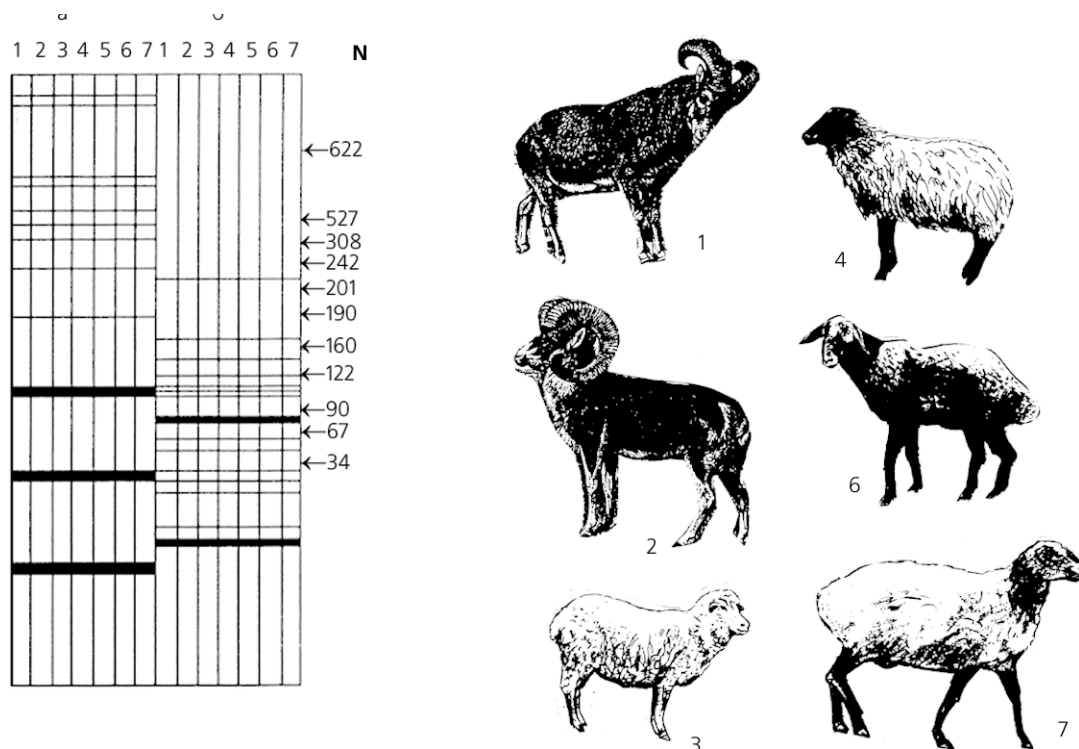
Наша идея воскресла после работы В.В.Гречко (Институт

молекулярной биологии РАН) и А.Н.Федорова (Институт молекулярной генетики РАН), которые предложили более простой способ (он назван методом таксопринтов), позволяющий изучать распределение фрагментов повторяющихся последовательностей. По этому методу ДНК гидролизуют короткощепляющими рестриктазами без отделения уникальных последовательностей от повторяющихся, а образовавшиеся полинуклеотиды метят радиоактивным фосфором ( $^{32}\text{P}$ ) по концевым остаткам. После этого смесь разделяют электрофорезом, выявляют фрагменты с помощью радиоавтографии и в итоге получают их спектр, или таксопринт.

Результаты исследования объектов методом таксопринтов и нашим прежним способом оказались сходными. Какие же молекулярные характеристики вида и популяций нам удалось получить?

Таксопринты отдельных популяций внутри вида (от рыб и ящериц до человека) идентичны. Не отличаются они и в большинстве географически изолированных популяций. Например у пустынных ушастых ежей спектр фрагментов ДНК одинаков, независимо от того, обитают животные в окрестностях Ашхабада, Кара-Колы или Ташкента [1]. Идентичны таксопринты кеты, нерестящейся в реках от Анадыря до Приморья; не различаются по этому молекулярному признаку и расы человека.

Но в некоторых случаях спектр фрагментов ДНК внутри одного вида имеет небольшие отличия, к примеру, у хорошо известной лососевой рыбы гольца, распространенной от Северной Европы до Дальнего Востока, а также в Америке. Существуют две формы этого вида — жилая, т.е. пресноводная, и проходная — только заходящая в реки



Спектры рестриктазных фрагментов ДНК двух видов диких горных баранов и нескольких пород домашних овец. Фрагменты получены расщеплением повторяющихся последовательностей ДНК ферментом *Msp I* (а) и ферментом *Hinf I* (б). Видно, что таксопринты и диких, и домашних животных одинаковы. 1 — муфлон, 2 — архар, 3 — казахская тонкорунная порода, 4 — каракульская, 5 — линкольнская (ее изображения не удалось отыскать), 6 — эдильбаевская, 7 — гиссарская. *N* — контрольные фрагменты, местоположение которых на электрофореграмме указано стрелками, а величина каждого выражена числом пар нуклеотидов.

во время нереста. Везде, где есть обе формы (в реках Шпицбергена, на севере Евразии от Норвегии до Таймыра), их таксопринты идентичны. Но в географически изолированных популяциях Восточной Сибири, где обитают только жилые гольцы, их ДНК уже отличается одним-двумя фрагментами. Это — гольцы из озера Лабынкыр, из озер Забайкалья и Чукотки, а также дальневосточный голец — мальма. Можно заключить, что в географически изолированных ареалах идет постепенное аллопатрическое видообразование [2].

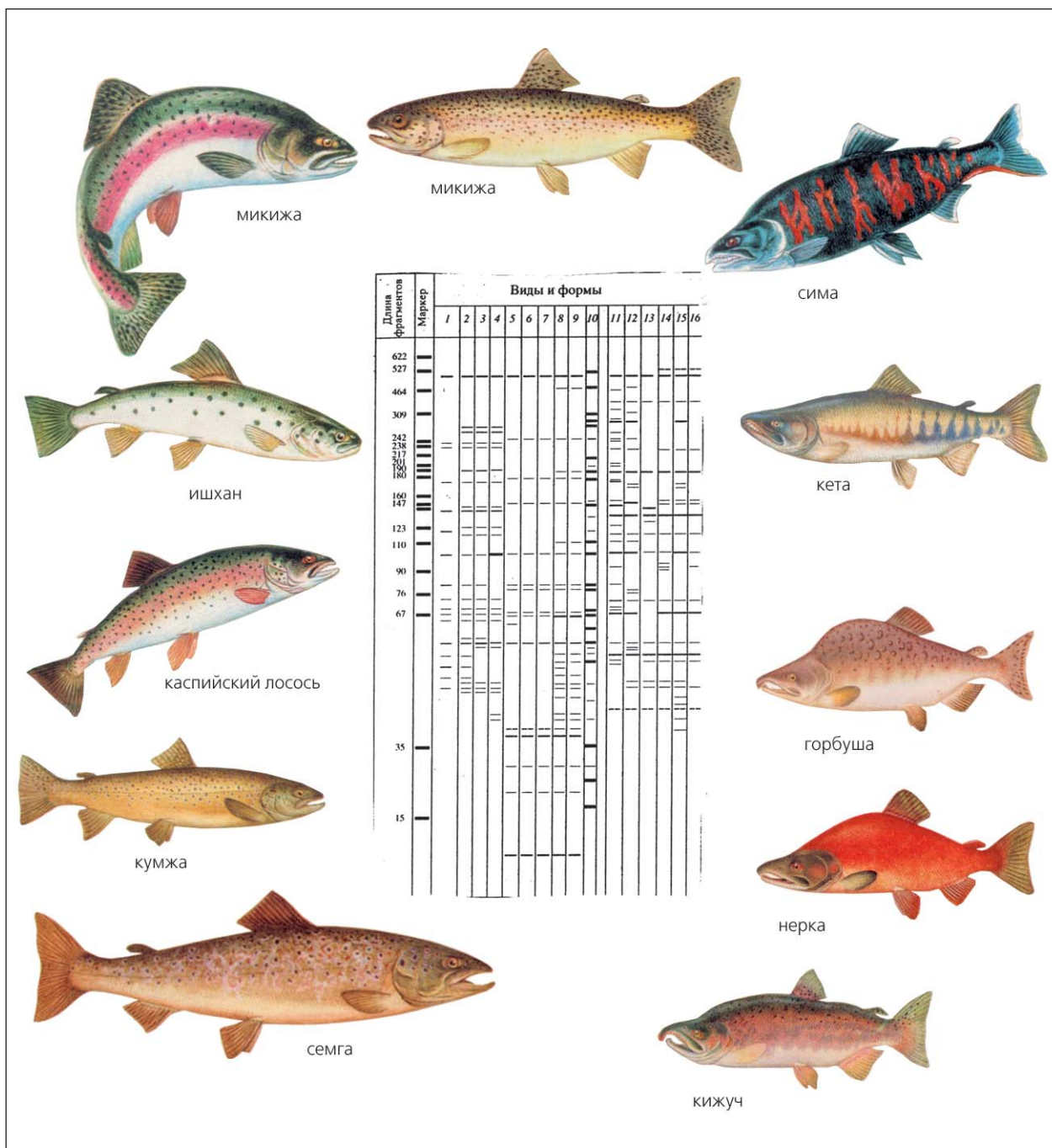
Иное дело, если близкие виды обитают совместно — их таксопринты отличаются довольно резко. Такие «спектры» различны, например,

у живущих в Подмоскowie обыкновенного и белогрудого ежей. Мало сходства и в наборе фрагментов ДНК двух видов гольцов, населяющих чукотское озеро Эльгыгытгын, — арктического гольца и малоротой палии, которая, кстати, и по морфологическим признакам отличается от прочих гольцов настолько, что ее выделили в отдельный род *Salvethymus*.

Все это приводит к мысли, что у симпатрических видов, обитающих совместно и, видимо, совместно возникших, дивергенция быстро проявляется в виде различий таксопринтов. Но они остаются близкими или даже идентичными у аллопатрических видов, чьи ареалы разделены расстоянием. Хороший при-

мер — американский бизон и европейский зубр. Они произошли от одного вида (*Bison priscus*), в свое время населявшего огромную территорию — от современной Британии до восточного берега Северной Америки. После того как материки分离лись, потомки прежде единого вида накопили немало морфологических различий, но таксопринты остались идентичными. Кстати, бизон и зубр свободно скрещиваются, и гибриды характеризуются гетерозисом — гибридной мощностью. Легко скрещиваются в неволе, а также на стыках мест обитания и дают плодовитое потомство горные бараны — европейский муфлон, переднеазиатский уриал и центральноазиатский архар, населяющие





Таксопринт ДНК атлантических и тихоокеанских лососей и форелей. Для фрагментации повторяющихся последовательностей использован фермент Tag I. 1 — семга; 2 — кумжа; 3 — каспийский лосось; 4 — ишхан (севанская форель); 5 — микижа (вверху слева); 6 — микижа, сходная с лососем Кларка; 7 — жилия форма микижи; 8 — радужная форель; 9 — микижа североамериканская; 10 — лосось Кларка; 11 — сима; 12 — кета; 13 — горбуша; 14 — нерка; 15 — кижуч; 16 — чавыча. Для каждого вида и даже формы этих рыб набор фрагментов ДНК специфичен, только у двух форм микижи (6, 7) он идентичен.

разные горные системы. Таксонопринты этих видов практически одинаковы [3]. Похоже, что такие виды генетически не изолированы, хотя имеют много различающихся морфологических черт, по которым систематики считают их самостоятельными.

Возникает естественный вопрос: для чего же в геноме существуют повторяющиеся последовательности, которые выявляются методом таксонопринтов? На наш взгляд, эти участки ДНК играют роль маркеров, т.е. распознают гены, которые должны включаться в действие в развивающейся зиготе. Запускают их регуляторные белки, имеющиеся в цитоплазме оплодотворенной яйцеклетки. В сперматозоидах цитоплазмы нет, поэтому нет и этих белков. Если такие фрагменты ДНК одинаковы или очень близки у отца и матери, отцовские и материнские хромосомы работают совместно, обеспечивая нормальное развитие зиготы.

А если различаются? Тогда регуляторные белки яйцеклетки с трудом узнают гены, привнесенные в нее спермием, и их работа оказывается заторможенной, зигота перестает развиваться, гибнет, и мы констатируем случай генетической межвидовой изоляции. Генетики хорошо знают так называемый материнский эффект, за счет которого отцовские гены разных видов или далеко разошедшихся разновидностей включаются в работу поздно или не включаются вообще. С точки зрения классической генетики — это нонсенс, ведь хромосомы обоих родителей равноправны.

Возможен относительно простой эксперимент для подтверждения материнского эффекта. Если в оплодотворенную яйцеклетку межвидового гибрида с помощью микроманипулятора ввести цитоплазму яйцеклетки отцовского вида, материнский эффект будет

снят: регуляторные белки цитоплазмы отцовской линии активируют гены отцовского генома. Этим же способом можно стимулировать развитие межвидовых гибридов, которые обычно не возникают. Наконец, цитоплазмой яйцеклетки можно активировать исходные гены для получения клонированного зародыша из недифференцированной соматической клетки.

Рассмотренная изоляция — следствие работы специфического молекулярного механизма. Он свойствен организмам, размножающимся половым путем, причем только симпатрических видов с посткопуляционной изоляцией. Для разобщенных расстоянием видов такой механизм не нужен, его у них и не существует. Поэтому сходны или идентичны таксонопринты ДНК бизона и зубра, европейского и амурского ежей.

Другой механизм возникновения репродуктивного барьера у видов с прекопуляционной изоляцией, например у птиц. У них близкие виды имеют идентичные таксонопринты ДНК, им ни к чему разница между сигнальными последовательностями, поскольку самцы и самки разных видов просто не узнают друг друга и не скрещиваются.

Наша гипотеза о регуляторной функции повторов ДНК подтвердилась при изучении геномов тихоокеанских лососей (кеты, горбуши, нерки, чавычи, симы и кижуча) и форелей (камчатской микижи и американских стальноголового лосося, радужной форели и лосося Кларка). Таксонопринты разных видов четко различались [4,5].

Дальнейшие исследования привели нас к открытию нового способа генетической изоляции, который прежде не был замечен.

Во многих наших северных озерах и реках сосуществуют разные виды сиговых рыб,

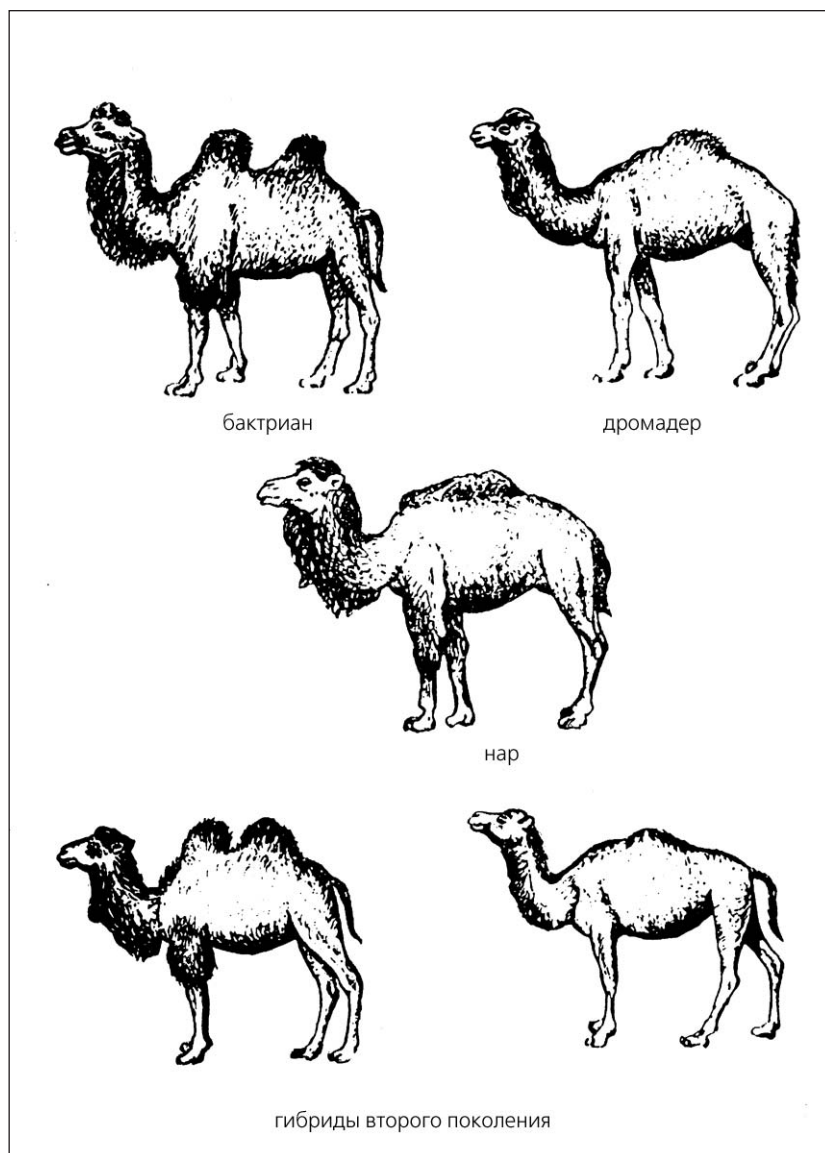
близких к лососевым. Кроме сига, к ним относятся байкальский и северный омули, гигантских размеров нельма, мелкая ряпушка и целый ряд других. Естественно было ожидать существенных различий в таксонопринтах сосуществующих видов.

На деле оказалось не так: эти «паспорта» ДНК были весьма сходными, а то и идентичными, за исключением американских сигов-вальков, два вида которых проникли в Азию. Известно, что разные сиги, обитающие совместно, легко скрещиваются. В Печоре, например, количество гибридных особей сига и омуля достигает трети от общей численности обоих стад. Значит, эти два вида давным-давно должны были слиться в процессе эволюции в один. Поскольку этого не происходит, должен существовать какой-то механизм, охраняющий самостоятельность видов, несмотря на постоянное скрещивание.

Разгадку мы нашли в старых работах Н.И.Николюкина, Г.Свердсона и ряда других исследователей. Там сообщалось, что межвидовые гибриды сиговых рыб отличаются мощным гетерозисом. В связи с этим возникла идея заселять водоемы гибридами обыкновенного сига и рипуса (крупной формы ряпушки).

Идею, однако, воплотить не удалось. Если первое поколение гибридов было крупным и жизнеспособным, то у их потомков появлялись многочисленные уродства: сросшиеся или искривленные позвонки, челюсти как у мопсов, один глаз или две головы и т.д. Обеспечить их размножение удавалось только скрещиванием гибридов первого поколения с одним из родительских видов, т.е. возвратным (погложительным) скрещиванием. Но следующее поколение снова теряло гибридные качества.

Итак, существуют по меньшей мере два механизма гене-



Исходные виды и гибриды верблюдов. Нары — первое поколение от скрещивания двугорбого верблюда бактриана с одногорбым дромадером — отличаются от родителей большей мощностью, но во втором гибридном поколении хозяйственно ценные качества наров теряются.

тической посткопуляционной изоляции. Первый из них, наиболее известный, предотвращает образование гибридов или обуславливает их стерильность или нежизнеспособность. У таких видов таксонопринты ДНК различаются. У видов со сходными или идентичными таксонопринтами первое поколение гибридов сохраняет черты обоих родителей, плодовито и обладает гибридной мощностью.

Именно здесь происходит обмен генами между видами. Однако второе поколение нежизнеспособно, оно не воспроизводит себя в потомстве, но может скрещиваться с родительскими видами. Обратное скрещивание поддерживается в природе автоматически, если, скажем, гибридные самцы стерильны, как у окуневых рыб рода *Aetheostoma*.

Похоже, второй механизм распространен в природе не

менее, чем первый. По данным Николукина, потомки от гибридизации разных видов осетровых рыб (осетрхбелуга, белугахсеврюга, осетрхсеврюга) скрещиваются не столько между собой, сколько с родительскими видами. То же отмечено для сиговых (ряпушкахсиг) и карповых (плотвахлещ, красноперкахгустера) рыб. Подобные межвидовые гибриды во втором и последующих поколениях «растворяются» в родительских стадах. Если численность одного родительского вида существенно превосходит численность другого, второй вытесняется первым из водоема. Так, мелкая, но многочисленная ряпушка вытесняет из водоема сига, плотва — леща и т.д. Г.Свердсон назвал это явление генетическим паразитизмом.

Широко ли распространен этот механизм изоляции в природе? Встречается ли он и в других группах животных? Хотя данных на сей счет мало, мы можем ответить на эти вопросы утвердительно. Например, легко скрещиваются индиговая и лазурная овсянки — два вида американских птичек, обитающих в Скалистых горах. Несмотря на то, что количество гибридных особей достигает 70% от общей численности, виды сохраняют свою самостоятельность. Еще одно подтверждение механизма посткопуляционной изоляции, приводящего к межвидовому скрещиванию и образованию плодовитых гибридов, которые «растворяются» в родительских видах, — виргинский олень и олень-мул из Северной Америки: у них особи одного вида могут иметь митохондрии другого. Подобные феномены описаны также у некоторых видов грызунов и лягушек.

Более того, этот механизм генетической изоляции издавна используется в практике, чему немало примеров. На-

ры — гибриды двугорбого и одногорбого верблюдов — высоко ценятся за гибридную мощь, но так как она теряется уже в следующем поколении, хозяйственно ценные качества нарав поддерживают, скрещивая их с одним из родительских видов. Межвидовые гибриды (а по мнению многих систематиков даже меж-

родовые) яка и крупного рогатого скота характеризуются мясистой и жирномолочностью. Но у них самцы неплодовиты, потому для сохранения этих качеств гибридных самок скрещивают с быками или самцами яков. Стерильными бывают гибридные самцы при межродовом скрещивании — бизонов (или зуб-

ров) с крупным рогатым скотом.

Было бы заманчиво выявить те последовательности ДНК, которые отвечают за малую жизнеспособность второго гибридного поколения и необходимость возвратного скрещивания. Но это уже не относится к теме данной статьи. ■

## Литература

1. Банникова А.А. и др. Сравнение повторяющихся последовательностей ДНК млекопитающих семейства Euphysalidae методом рестриктазного анализа // Генетика. 1995. Т.31. №11. С.1498—1506.
2. Максимов В.В. и др. Горный голец — новая форма арктического гольца (род *Salvelinus*) из водоемов Таймыра // Вопр. ихтиологии. 1995. Т.35. №3. С.296—301.
3. Мельникова М.Н. и др. Исследование полиморфизма и дивергенции геномной ДНК на видовом и популяционном уровне (на примере пород диких и домашних овец) // Генетика. 1995. Т.31. №8. С.1120—1131.
4. Шубина Е.А., Медников Б.М. Семейства повторяющихся последовательностей в ДНК дальневосточных лососей рода *Oncorhynchus* // Молекуляр. биология. 1986. Т.20. №4. С.947—956.
5. Медников Б.М. и др. Проблема родового статуса тихоокеанских лососей и форелей (геносистематический анализ) // Вопр. ихтиологии. 1999. Т.39. №1. С.14—21.

### Мияко предупреждает о «намерениях»

Японские рыбаки, вернувшись из плавания 27 июня 2000 г., рассказали, что в 1 км к западу от 8-километрового в поперечнике островка Миякедзима (архипелаг Идзу) морская вода сильно замутнена. Геологическое и метеорологическое агентства Японии немедленно послали туда исследовательское судно. Телеметрическое оборудование и многолучевой локатор показали, что в этом районе, находящемся в 202 км к югу от Токио, на морском ложе образовались свежие расселины. В центре круга с мутной водой на дне были обнаружены три небольших кратера, из которых поднимался столб разогретой воды (Bulletin of the Global Volcanism Network. 2000. V.25. №6. P.4. США). Вскоре «заговорил» и сам вулкан Мияко, по существу образующий весь о.Миякедзима. О своем пробуждении он известил серией зем-

летрясений: за месяц отмечено 17.5 тыс. подземных толчков, причем 5.5 тыс. из них достаточно сильных, а толчок магнитудой 6.4 по шкале Рихтера унес жизнь одного островитянина.

26 июня мэр острова распорядился эвакуировать примерно половину из 4 тыс. жителей Миякедзима; тревогу пришлось объявить и на соседних островах Ниидзима и Кодзима: из вершинного кратера с грохотом полетели тучи пепла и каменных обломков. Пепел завалил окрестные поля. На верхних склонах горы появилась впадина диаметром 200 м и примерно такой же глубины; этот провал образовался из-за того, что магма, лежащая в глубине камеры, выделив газы, уменьшилась в объеме, и почва осела.

Сейсмологи установили, что очаги землетрясения постепенно смещаются из-под самого острова на запад и северо-запад и к 21 июля они уже нахо-

дились в 70 км от него. Глубина их залегания небольшая - всего около 10 км под поверхностью дна, что и вызывало столь многочисленные сотрясения. События продолжались примерно месяц, после чего население смогло вернуться домой.

Это не первый случай пробуждения вулкана Миякедзима. Многочисленные мелкие кратеры и расщелины усеивают его склоны как под водой, так и на суше. На самой вершине (815 м над ур.м.) расположился двойной кратер: внутри главного, диаметром 3.5 км, находится полуторакилометровый, в центре которого образовался конус из материалов прежних извержений. Они здесь происходят довольно часто, с интервалами от 20 до 70 лет. В последний раз это случилось в 1983 г. Впрочем, вулкан всегда о своих «намерениях» предупреждает серией нарастающих подземных толчков.

Канадская





*Ферокактус, достигающий более метра в высоту, похож на диковинный цветок.*

# В планетарном саду кактусов

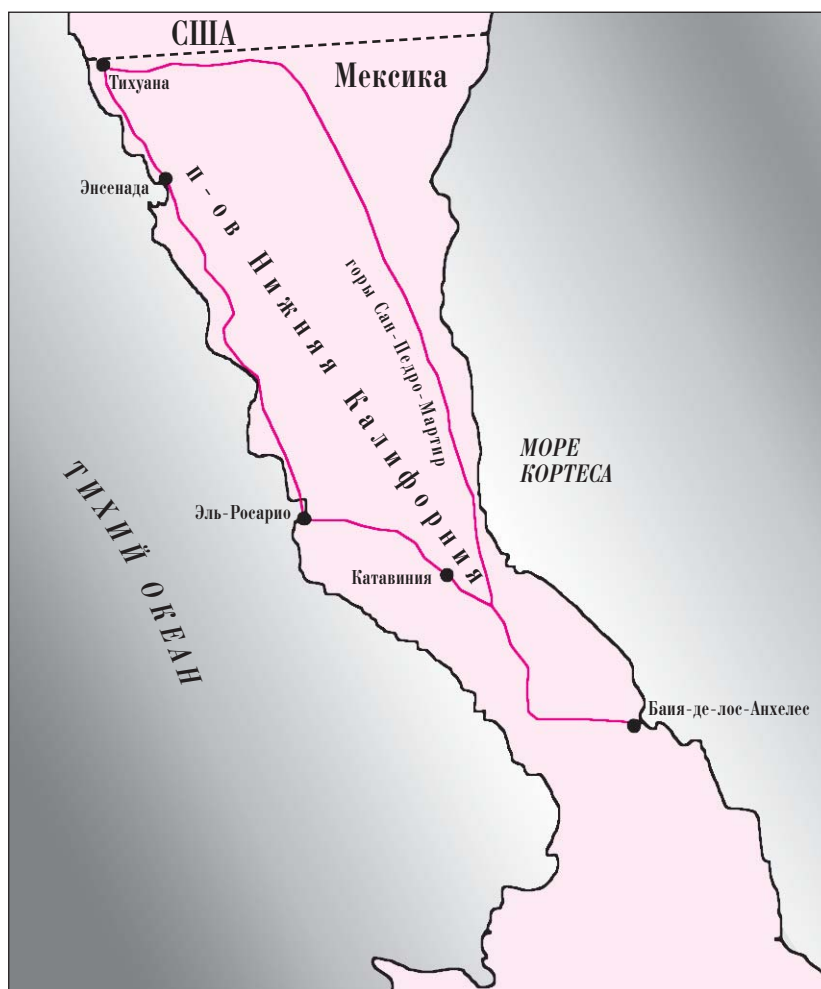
В.Е.Приходько,

кандидат биологических наук

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН  
г.Пушино

По приглашению известного американского эколога М.Сингера и благодаря финансовой поддержке Фонда Фулбрайта автору этих строк посчастливилось работать в одном из 11 филиалов Калифорнийского университета. Он расположен в г.Дейвисе, что в 130 км от Сан-Франциско и 15 км от Сакраменто — столицы штата Калифорния. Здесь в университетском городке — кампусе — живут 25 тыс. студентов и аспирантов из разных стран мира.

Мои исследования были связаны с проблемами орошения, которое наряду с несомненной пользой нередко приводит к отрицательным результатам — потере воды, выносу питательных веществ, загрязнению токсичными веществами, засолению и т.п. Впрочем, в засушливых районах США неплохо справляются с этими нежелательными явлениями. В окрестностях Дейвиса я не только познакомилась с опытом рациональной ирригации и методами предотвращения деградации почв, но и занималась экспериментальными работами. Этот город лежит в Большой Калифорнийской долине —



Маршрут экспедиции (цветная линия) на п-ове Нижняя Калифорния.

© В.Е.Приходько





Гигантское соцветие агавы — украшение зимней пустыни.



Кактус с соцветиями на вершинах чем-то напоминает шею жирафа.



Кактус, похожий на дерево с колючими плодами.



Молодые побеги опунции гораздо светлее старых.

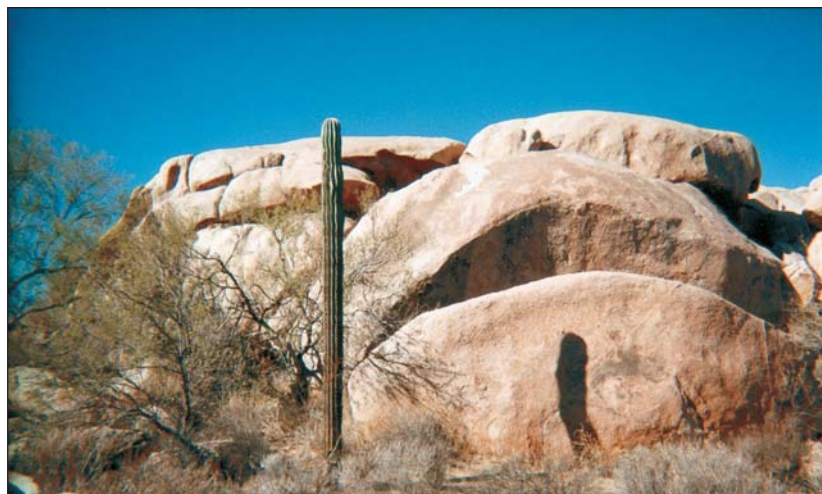


межгорной впадине длиной 800 км. Сухой субтропический климат позволяет здесь расти без полива только кактусам. Но настоящий сад из этих растений мне пришлось увидеть значительно южнее — в Мексике. Дело в том, что у Калифорнийского университета г. Дейвиса существует хорошая традиция — три раза в год выезжать на полевую практику. Зимняя экспедиция проводится на Калифорнийском п-ове, который еще называют Нижней Калифорнией. Туда мы и выехали в конце декабря 1999 г.: предстояло совместить приятное с полезным — практику со встречей Нового 2000 года.

Завораживающая красота Калифорнии, во многом созданная человеком, сменилась, как только мы пересекли границу, первозданным пустынным ландшафтом. Маршрут был заранее разработан: г. Тихуана, Калифорнийский залив близ г. Эль-Россарио, сад камней и оазис голубых пальм у г. Катавиния, национальный парк Сан-Педро-Мартир, море Кортеса у Баия-де-лос-Анхелес.

Нижняя Калифорния тянется узкой лентой шириной 50—250 км и длиной 1200 км, омывается Тихим океаном и отделена от материка Калифорнийским заливом, или морем Кортеса, названным в честь первого европейца, высадившегося здесь в начале XVI в. На многие сотни километров простираются субтропические и тропические полупустыни и пустыни. Но полуостров называют планетарным садом кактусов, потому что из 110 их видов, произрастающих здесь, 80 не встречаются больше нигде в мире.

Пустынный ландшафт обрамляют горы. На востоке кристаллические и вулканические массивы взмывают в небо на высоту более 3 км, на западе они ниже — до 1.5 км. Жителей на полуострове немного,



*В природном саду камней и кактусов.*



*Пространство между валунами заселили уникальные кактусы.*



*Обычная зеленая и редкая голубая мексиканская веерная пальмы соседствуют в горном оазисе.*



и только изредка встречаются возделанные орошаемые поля. В г.Энсенде находится порт и центр мексиканских виноделов. Из винограда, выращиваемого неподалеку, в долине Гваделупа, производится 90% мексиканского вина. Основное население Мексики живет в местах с более влажным климатом.

Второй феномен этих мест — животный мир. Уже тысячи лет арктические серые киты преодолевают путь длиной 14 тыс. км из Берингова моря в эти места, и поэтому их здесь называют главными туристами. Вблизи полуострова киты обитают всю зиму и производят здесь на свет детенышей. Морские коттики, дельфины, экзотические рыбки, тысячи птиц, собирающиеся зимой вдоль скального побережья моря, так называемого Кристаллического коридора Кортеса, делают эти места еще более привлекательными.

В декабре, после полугодовой засухи и жары, здесь начинаются редкие дожди, и пустыня постепенно преобразуется. Безжизненный ландшафт зеленеет, зацветают некоторые кактусы. Но настоящий праздник цветения вместе с изобилием маков приходится на апрель, когда прольют зимние дожди.

Наша первая стоянка — на берегу золотого пляжа Тихого океана около селения Эль-Росарио, названного именем покровительницы путешественников по суше и морю. Вокруг много огромных агав, похожих на гигантский артишок с кожистыми, очень колючими по краю листьями. (У нас в стране агаву выращивают в парках черноморских курортных городов.) Засохнув, растения превращаются в перекати-поле до 1 м в диаметре.

Цветут они необычно, выпускающая цветоножку до 2-3 м длиной; потом по обе стороны от нее появляются многоярусные горизонтальные полуметровые перекаладки, обильно усеянные небольшими желтыми цветками.

Но преобладают здесь кактусы. Одни — мартиллокактусы — напоминают огромные канделябры более 3 м в высоту (присмотревшись, мы, нашли на них крохотные белые цветы), другие — некоторые опунции — деревья, изобилующие зелеными плодами, третьи — феррокактусы — с виду похожи на громадный цветок, так как их вершины усеяны темно-бордовыми колючками. Очень многие кактусы у нас разводят в горшках. Но здесь они занимают огромные площади, и размеры их намного превосходят комнатные.

Много вечнозеленых деревьев. Поражают слоновое дерево, акации и юкки, побеги которых разветвляются на несколько пушистых вершин.

Во время поездки запланированные остановки часто чередовались с неожиданными, когда за окном автомобиля мы видели необычное растение. Таким сюрпризом была встреча с загадочным кактусом, называемым здесь буджем. Его длинные тонкие ветви покрыты нежной зеленоватой кожурой с обилием колючек и мелких листьев на коротких веточках. На верхушках — длинные соцветия из мелких цветков. Позже мы увидели целые заросли этого растения.

Всех покорила гигантский кактус *Pachycereus pringlei* — самый высокий в мире, иногда достигающий 10 м, очень колючий, что помогает ему прожить иногда до 400 лет и набрать вес до 10 т. Почти от ос-

нования он начинает разделяться на ветви, вертикально устремляющиеся в небо.

Но особенно поразил нас природный сад камней, протянувшийся на многие километры недалеко от г.Катавинья. За тысячи лет ветер округлил причудливой формы валуны, образовав в них ниши и отверстия. Огромные кактусы придают саду камней неземной колорит.

В национальном парке «Сан-Педро-Мартин», расположенном в горах с таким же названием, можно собственными глазами видеть, как длительное (сотни миллионов лет) выветривание воздействует на гранит, куски которого под руками распадаются на песчинки.

В горной котловине нас встретил настоящий оазис — озеро с голубой водой, обрамленное голубыми же мексиканскими веерными пальмами (более редкими по сравнению с обычными зелеными). Оазис образовался из-за неглубокого залегания пресных грунтовых вод. Здесь недалеко от поверхности лежат плотные породы, не пропускающие воду, которая стекает с горных склонов. Вокруг нет никаких следов пустыни, и многие растения цветут круглый год.

Дальше наш путь лежал к Баия-де-лос-Анхелес. Здесь интернациональный отряд из 14 человек, которые приехали учиться в Калифорнию из Канады, Мексики, Италии, Тайваня, и встретил Новый год вместе с мексиканскими друзьями. На следующий день мы уже загорали на берегу моря Кортеса, теща себя надеждами, что традиция встречать Новый год в этой стране вечного лета, на п-ове Нижняя Калифорния, не прекратится. ■

# Не переоценить сокровища Нептуна

Б.И.Силкин

Москва

Более 35 лет назад широкой публике стала известна нарисованная некоторыми специалистами довольно радужная картина, изображающая несметные запасы полезных ископаемых, которые покоятся на дне Мирового океана. Первым делом геологи обратили внимание на железомарганцевые конкреции, слагающие под водой целые рудные поля. Лишь на дне Тихого океана общая масса таких «месторождений» была оценена более чем в 1,5 трлн т [1]. Плотные бурые желваки диаметром 4–8 см кроме марганца и железа содержат еще много меди, никеля, кобальта. Причем предполагалось, что рост конкреций идет быстрее, чем могла бы потреблять промышленность. Казалось, человечество нашло буквально неисчерпаемые запасы важного сырья.

Многочисленные публикации как в общей, так и в научной печати породили настоящую «марганцевую лихорадку»: за десятилетие, начавшееся в 1977 г., в море с геолого-поисковыми целями вышли десятки исследовательских судов, принадлежащих многим развитым странам. Наибольшим вниманием была окруже-

на зона разлома Клариион—Клипертон в приэкваториальной части Тихого океана. Только США и Франция провели более 40 специальных исследований в этом районе, Федеративная Германия — 26. Советские суда тоже совершили около 40 экспедиций в различных акваториях океана.

Согласно подсчетам 1977 г., лишь конкреции Тихого океана у экватора, покрывающие площадь примерно 6 млн км<sup>2</sup>, содержат около 11 млрд т марганца, 115 млн т кобальта, 650 млн т никеля и 520 млн т меди. Что касается реальной их добычи [2], то оптимисты считали: экономически оправданная широкомасштабная разработка\* может начаться уже через 5–10 лет... Для изучения проблемы их эксплуатации в США, Германии, Японии, Франции и Великобритании было организовано семь специальных консорциумов, обладающих немалыми средствами. В 1978 г. на тихоокеанских волнах уже работала первая плавучая экспериментальная установка, которая поднимала со дна марганцевые желваки. Но успев поднять лишь

80 т ценного сырья, команда упустила за борт основное оборудование. С тех пор оно мирно покоится на дне рядом с объектом работы. Убытки пришлось списать...

Конкурирующая компания «Локхид» создала свою добычную систему, которой предполагалось оснастить построенное корпорацией «Хьюз» судно «Гломар Эксплорер». В гигантский (длиной 82 м) трюм корабля телеметрически управляемое оборудование могло доставлять «добычу» с глубины до 6 тыс. м. Однако стало известно, что судно стоимостью 500 млн амер. долл. построено по специальному заказу Центрального разведывательного управления США для подъема на поверхность советской атомной подводной лодки, затонувшей недалеко от Гавайских о-вов. Операция не вполне удалась — лодка развалилась на две части, и одну из них достать так и не смогли. Стало понятно, что добыча руды с таких глубин тоже дело непростое. И от этой идеи пришлось отказаться.

Наконец, на проблему морских сокровищ возобладал более трезвый взгляд. Ныне считается, что тихоокеанские глубоководные конкреции представляют собой экономи-

\* Сегодня мы видим, что запасы конкреций несколько переоценены. Все же на дне от глаз людских, по некоторым подсчетам, скрыто около 7,5 млрд т Mn, 75 млн т Co, 340 млн т Ni и 265 млн т Cu.

чески выгодные скопления никеля, кобальта, меди только в том случае, когда их содержания в руде составляют более 2.5%, а плотность залегания самих конкреций на дне не менее 10 кг на 1 м<sup>2</sup>. Это означает, что потенциально достойными разработки можно считать не более 5% всех конкреций. Представляющие интерес для промышленности марганцевые конкреции обычно находят в центральных акваториях океана на глубинах более 4.5 тыс. м. Экономически их подъем оправдан только при добыче не менее 3 млн т в год, причем в течение 20 лет и на единой площади, не превышающей 6 тыс. км<sup>2</sup>. Эти требования снижают их привлекательность в обозримом будущем.

Кроме того, свое веское слово сказал и рынок: с начала 80-х годов цены на металлы во всем мире установились низкие, так что даже наземные шахты вели работу не на полную мощность. Источники высококачественных металлических руд на твердой земле оказались способными удовлетворить спрос на цветные металлы в течение по меньшей мере нескольких десятилетий.

Первоначальный энтузиазм, возникший вокруг океанических конкреций, к 1982 г. упал. Американские, немецкие и французские программы в данной области были прекращены. За 25 лет, начиная с 60-х годов, на них было израсходовано свыше 650 млн долл. США. Впрочем, для большинства фирм убыток составлял не более 7% средств, кото-

рые ежегодно расходуются на разведку, исследования и совершенствование техники.

В 1978 г. повстанческие войска из Анголы и Замбии вторглись на территорию заирской провинции Шаба, где сосредоточено крупнейшее месторождение Со и Рт. На мировом рынке немедленно поднялись цены на эти металлы, считающиеся стратегическими. Возник интерес к марганцевым коркам, слагающим склоны некоторых подводных гор на глубинах от 1500 до 2500 м. Еще в 1954 г. появилось сообщение о высоком содержании в них кобальта (0.7%). Но широкомасштабные исследования были начаты экспедицией на немецком судне «Зонне» лишь в 1982 г., а затем продолжены в многочисленных экспедициях американских и советских судов в Тихом океане и в значительно меньшей степени — в Атлантическом и Индийском [3].

Экономические критерии при этом были такие: толщина марганцевых корок — не менее 40 мм, содержание кобальта — в среднем 1%. Общие запасы подобных руд в пределах экономической зоны США достигают примерно 300 млн т и составляют около 2.7 млн т кобальта, 1.5 млн т никеля и 74.1 млн т марганца. Аналогичные руды обнаружены и другими государствами в своих экономических морских зонах на глубинах от 1500 до 2500 м. Надо учесть, что технические проблемы отделения корок от подстилающих пород прямо на склоне подводной горы еще далеко не

решены, и это делает их добычу более трудной, чем конкреций. Так что подобные работы пока нигде не ведутся.

В последнее десятилетие коммерческий интерес к данной проблеме проявляют Китай, Индия, Япония и Южная Корея. Страны — не богатые месторождениями металлов. Недавно к ним примкнула и Ямайка. Они приняли на себя статус «передового инвестора» и обязательства выполнить определенную программу на зарегистрированной по международным законам территории. Но цены на металлы все еще остаются низкими, так что морская добыча конкреций невыгодна, и реальная разработка соответствующих технических систем не ведется.

В 1994 г. в экономической зоне Канады около о.Ньюфаундленд было открыто месторождение сульфидов никеля, меди и кобальта. Это одно из крупнейших никелевых месторождений в мире. Возможно, что его разработка окажется экономически выгодной.

\* \* \*

Очевидный вывод состоит в том, что ошибочные геолого-экономические прогнозы и недостаточно продуманные международные правила, основанные на излишнем оптимизме, привели к растрате человеческих усилий и ресурсов, вложенных в попытки добыть богатства, скрывающиеся от нас Нептуном. Остается надеяться, что этот опыт позволит избавиться от подобных ошибок в дальнейшем. ■

## Литература

1. Mero J.L. The mineral resources of the sea. Amsterdam, 1965.
2. Glasby G.P. // Science. 2000.V.289. №5479. P.551—553.
3. Батулин Г.Н. // Литология и полез. ископаемые. 2000. №5. С.451—476.

# Кто уберет опавшие листья? Краб!

К.Н.Несис,  
доктор биологических наук  
Москва

С деревьев листья опадают... Пришла осенняя пора! Но пройдет зима, настанет лето — и где они, опавшие листья? Нет их, кто-то убрал. Если б никто не убирал, очень скоро деревья стояли бы «по самую шейку» в опавшей листве. Что в тропиках, что в наших широтах — уборкой и утилизацией опада занимается целое сообщество беспозвоночных. Земляные черви, многоножки, клещи, ногохвостки, жуки, а в тропиках еще и термиты, тараканы — их множество. Крупные позвоночные животные опавшие листья есть не будут, а вот разнообразная мелочь их подбирает, утаскивает в норки или измельчает на месте. Дальше в дело вступают всякие грибки и бактерии, разрушающие целлюлозу, — в конце концов все идет в дело. Недаром это многоликое сообщество называют инженерами экосистемы. Но, оказывается, в тропиках есть места, где практически всю работу выполняет один вид — сухопутный краб!

Одно из таких мест — о.Рождества в Индийском океане. Он невелик (всего 135 км<sup>2</sup>), почти плоский, с обрывистыми берегами, температу-



Красный краб в позе покоя.

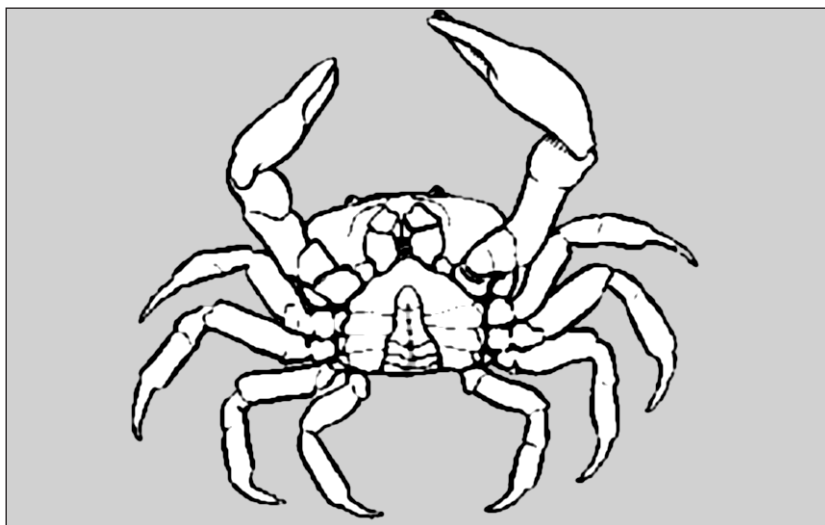
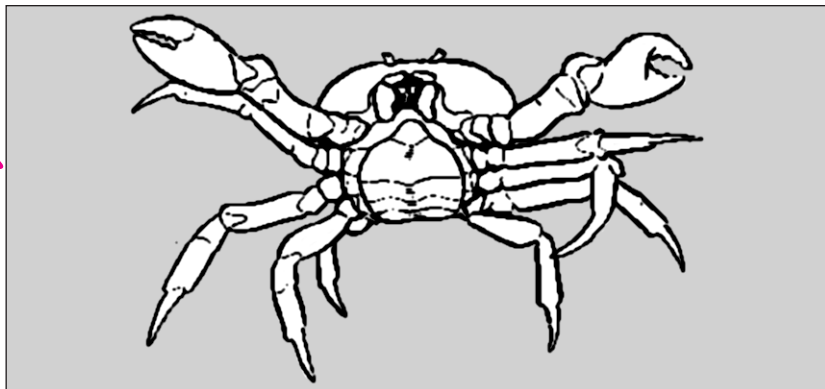
ра круглый год 27°C, осадков, как в Батуми, — 2000 мм/год. Принадлежит остров Австралии. Население — немногим более 3 тыс. человек. Экономика целиком держится на фосфоритах — их добывают в карьере, узкоколейкой подвозят на обогатительную фабрику, по длинной эстакаде грузят на суда и отправляют за океан.

За исключением карьера, порта и немногочисленных поселков, весь остров покрыт влажным тропическим лесом,

в котором и живут знаменитые красные крабы острова Рождества<sup>1</sup>, по-латыни *Gecarcoidea natalis* (*ge* — корень слова «земля», *carc* — слова «краб», *natalis* означает «рождественский»). Краб крупный: панцирь до 12 см в поперечнике, масса до полукилограмма. Сам весь красный, только спинка черная. Характер мрачный — каждый живет в своей норе.

<sup>1</sup> Green P.T., Lake P.S., O'Dowd D.J. // Oecologia. 1999. Bd.119. №3. P.435—444; Adamczewska A.M., Morris S. // J. Experim. Zool. 2000. V.286. №6. P.552—562.





Самка (вверху) и самец красного краба в позах угрозы: тело приподнято, клешни задраны вверх.

Клешни здоровенные — палец человеку сломать может. Поэтому брать его нужно осторожно, за спинку, с боков.

Живет этот вид только на островах Индийского океана — Кокосовых (Килинг) и Рождества (на нем обитают 14 видов наземных крабов, но красных больше всех — 100—120 млн). Биомасса крабов в лесу о.Рождества (114 г/м<sup>2</sup>) гораздо выше, чем всех мелких беспозвоночных на квадратный метр лесной подстилки в других местах планеты. На гектар леса в среднем приходится до 12 тыс. штук общей массой более тонны! Так что ходить по лесу нужно внимательно, чтобы в нору не провалиться и никто за ногу не схватил.

Ну, в лес можно и не ходить, но что делать, если крабы сами к вам в дом явятся? В сухой сезон Южного полушария (апрель—октябрь) они в основном сидят в норах, выходят только утром и вечером, когда посырее. Но для развития личинок необходима морская вода. И вот с самого начала сезона дождей, после первого же ливня (обычно в конце октября — ноябре), крабы неисчислимыми множествами, сперва самцы, за ними — самки, устремляются со всех концов острова к океану, проходя за день по 5 км и больше. А поселки — на их пути! Дома, дворы, садики, плавательные бассейны, улицы, дороги — все забито крабами! Десятки тысяч их гибнут на дорогах,

машины и поезда буксуют на раздавленных колесах тел! Жителям приходится баррикадировать входы в дома и на участки! Поэтому красный краб стал и символом, и почти синонимом о.Рождества.

Незадолго до полнолуния на берегу происходит спаривание. Самцы, естественно, дерутся из-за самок. Потом самка роет у берега нору и 13 суток вынашивает яйца. За три-четыре дня до новолуния она отправляется на берег, где, уцепившись за камень прямо над прибоем, на мгновение опускает брюшко в воду — икринки лопаются, личинки выходят в воду и расплываются в разные стороны. После этого, главного в жизни, события крабы отправляются в обратный путь, чтобы за влажный сезон (ноябрь—март) поднакопить жирку после двухмесячного сидения в норе в разгар засухи. Такой беспокойный для жителей острова период длится один-два лунных месяца, т.е. до восьми недель, причем в первой волне миграции участвует почти 80% всех крабов. Личинки, прожив в океане положенное время, превращаются в молодых крабов, вылезают на берег и отправляются в лес, но это уже не так беспокойно — они ведь крохотные!

Красные крабы, в отличие от большинства сухопутных сородичей, — дневные животные, но в период активного питания, в сезон дождей, могут кормиться и ночью. Опавшие листья — их основная пища. Австралийские зоологи изучили роль крабов в переработке лесной подстилки. В природе количество опада максимально к концу сухого сезона — листья целиком покрывают почву. А к концу сезона дождей их почти совсем нет. Когда участки почвы закрыли сеткой, сквозь ячейки которой могли проникать мелкие беспозвоночные, но не крабы, оказа-

лось, что и в тени под пологом леса, и на освещенных полянах листва накапливалась так, что сплошняком покрывала поверхность почвы на протяжении всего года.

Достигнув к четырем-пяти годам половозрелости, крабы перестают расти и линяют редко, раз в год. Между линьками далеко от норы не отходят (за исключением периода миграций) — стало быть, энергетические траты их невелики, а значит, и пищевой рацион маленький — всего 4 г на килограмм массы тела в сутки. Тем не менее они поедают до 87% годового опада: в среднем 40—60% в сухой сезон и свыше 80% — во влажный. Эксперименты с привязыванием отдельных листьев показали, что работу по их утаскиванию крабы выполня-

ют монополюно: кроме них над листьями работают только микроорганизмы. Крабы разгрызают листья (даже жесткие, малодоступные бактериям) и утаскивают в норы, где тепло и сыро, облегчая тем самым работу грибкам и бактериям. Все это резко ускоряет переработку опада. В первые же сутки крабы утаскивают в сухой сезон 55%, а во влажный — 70% свежесопавших листьев. Скорость разложения листвы с их участием в два с лишним раза больше, чем без них. Убирая опад, они значительно снижают численность других обитателей подстилки, хотя и не вмешиваются в их отношения друг с другом.

Поедая опад, крабы удобряют своим навозом бедную органикой почву тропического

леса и возвращают дефицитные биогенные элементы в круговорот веществ. Кроме того, они питаются плодами, семенами и молодыми проростками. Да плюс к тому роют норы и, стало быть, перемешивают почву, подобно земляным червям, только более эффективно — норы у них очень глубокие!

Превратить неплодородную почву в гумус — ведь это мечта любого огородника! Монополизируя переработку подстилки, крабы выполняют важнейшую работу по превращению опавших листьев в органическое вещество почвы. Вот почему жители острова стараются, чтобы поменьше крабов гибло на дорогах. Даже в школах учат, как полезны эти страшные с виду красные существа! ■

## Малый дятел

В.И.Булави́нцев,

кандидат биологических наук

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

Дятлы разные бывают, большие и поменьше, пестрые, белоспинные, зеленые, седые и черные, даже трехпалые. Настоящие дятловые — это целое семейство из 213 видов, которые составляют 38 родов. Самый крупный дятел в нашей стране — черный, или желна (длиной около 28 см), а есть совсем крошки, размером с домового воробья, их так и зовут: малые, или воробьиные, дятлы.

Птицы эти пестры пером, черным с белым. У самцов алые шапочки, самочки — скромно черно-белоголовые. Гнезда в дуплах устраивают по-разному. Там, где им беспокойно, в парках например, гнездятся высоко, а в глухомани могут устроить гнездо в метре от земли, но в любом случае стараются долбить дупло в нетолстом, полусгнившем стволике, а на больших деревьях — в боковых усыхающих ветках.

Любят малые дятлы жить по берегам рек и речек, порос-

ших ивняком, ольхой и осинной, и укрытых ближе к урезу воды зелеными коврами осок, дающих приют изящным стрекозкам — красоткам-девушкам, тем, что с темно-синими слюдяными крылышками.

Дупло у малых дятлов — им в пору, маленькое снаружи, ровное, круглое. Весной, в апреле, самец подыскивает подходящее деревце и, устроившись на боковой ветке, колотит ее клювом, выбивая негромкую барабанную дробь, привлекая на свою террито-





*Хозяин дупла.*

*Здесь и далее фото автора*





*Приречный лес — вольница для мелких дятлов.*

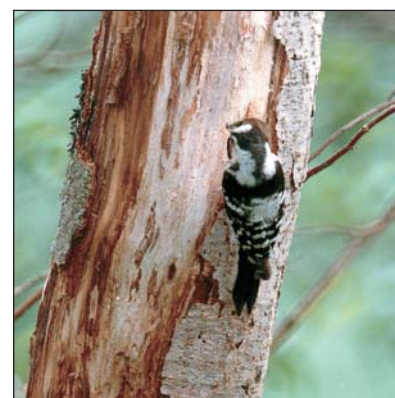
рию самку, а заодно и сообщая своим собратьям, что это место уже занято.

В начале мая в дупле, устроенном немудрено, без подстилки, появляются пять-шесть фарфорово-белых яиц-чек-виноградин. Согревают кладку оба родителя, но самка — чаще днем, самец — ночью. Недели через две, во второй половине мая, появляются птенцы: голые, слепые и глухие. Но уже через три недели настолько вырастают, что покидают родное дупло. Родители держатся с выводком недолго, и вскоре для молодых начинается полная опасность пора самостоятельности. Тут тебе и извечный враг птичьей мелочи — перепелятник, а зазевался — куница придушит. Немало напастей на бедную голову дятлят наберется, всего не перечесать, расплата за ротозейство — жизнь.

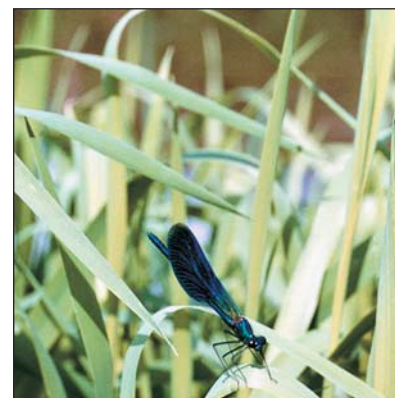
Переживут молодые пер-

вую осень, поосвоятся, а впереди зима, тоже испытание нешуточное не только для молоди, взрослым достается не меньше. Зимой крошки-дятлы часто кормятся в смешанных стайках лесных птиц, с синицами, поползнями и пищухами. Но могут добывать корм и сами, в местах для дятлов не совсем обычных, на крупных сорняках, к примеру — репейнике. Сядет пестрая, черно-белая птичка на стебель, там, где он из-под снега торчит, и долбит что есть сил, усердно работает. Подолбит, примерится, словно прислушиваясь, и снова за свое. Так отыскивают дятлы личинок насекомых, зимующих в полых стеблях крупнотравья.

Бежит время. Глядишь, и зима на убыль, дело к весне, пора дупло строить, детей заводить, чтобы не пресекался род крошек-дятлов на Земле. ■



*Самочка кормит птенцов.*



*Красотка-девушка в осоковых зарослях.*



# Нужно ли менять «Боинг» и Ту на ковер-самолет?

И.Л.Кароль, А.А.Киселев

«**Н** и в коем случае!» — воскликнет читатель, вспомнив комфорт авиасалона и мысленно прикинув, в каких условиях мог бы протекать альтернативный полет. Тем не менее определенный резон в вынесенном в заголовок вопросе все-таки имеется. Упомянутое сказочное транспортное средство имеет одно неоспоримое преимущество перед его рукотворными конкурентами, которое, очевидно, сохранится в обозримом будущем — оно экологически чистое. Поэтому изучение последствий загрязнения атмосферы продуктами сгорания авиационных двигателей было и остается одной из важных проблем защиты окружающей среды. Актуальность этой проблемы обусловлена быстрым ростом объема воздушных пассажирских перевозок в мире, который вырос с 9 млн человек в 1945 г. до 1443 млн в 1998 г., т.е. увеличился за полвека в 160 раз! В 80—90-х годах этот объем возрастал в среднем на 5% в год (в Юго-Восточной Азии — до 20%), а количество сожженного топлива и, как следствие, выбросов продуктов сгорания в атмосферу — на 3.5—4.5% в год. Такие же



**Игорь Леонидович Кароль**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова. Специалист в области моделирования климата, фотохимических и радиационных процессов в атмосфере. Многие годы занимается проблемами атмосферного озона.



**Андрей Александрович Киселев**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела динамической метеорологии той же обсерватории. Занимается фотохимическими процессами в атмосфере.

темпы роста ожидаются в первые десятилетия XXI в. Весь транспорт мира ныне потребляет 20—25% всего сжигаемого ископаемого топлива в год, доля авиации в этом потреблении составляет 13%, автотранспорта — 80%.

Впервые гипотеза о значительном воздействии выхлопных газов авиационных двигателей на окружающий воздух

была высказана в 1971 г. химиком Калифорнийского университета в Беркли Г.Джонстоном. Он предположил, что оксиды азота NO и NO<sub>2</sub>, содержащиеся в выбросах большого числа транспортных сверхзвуковых самолетов, могут вызвать уменьшение количества атмосферного озона. Проведенные в последующие годы модельные исследования по-

казали, что воздействие продуктов сгорания самолетов на озоновый слой неодинаково в различных частях атмосферы. В нижней стратосфере (на высотах 16—25 км), где располагается зона полетов сверхзвуковой авиации, озон действительно разрушается в результате увеличения концентрации азотных оксидов. Однако суммарный эффект этого разрушения невелик, поскольку общее количество таких полетов ныне незначительно, а большинство пассажирских и грузовых перевозок осуществляется дозвуковой авиацией в верхней тропосфере и вблизи тропопаузы (на высотах 8—12 км). А выбросы оксидов азота в этом слое, согласно тем же модельным оценкам, напротив, способствуют некоторому росту содержания озона в нем.

Наблюдая за летящим высоко в безоблачном небе самолетом, каждый из нас видел оставляемый им шлейф, который состоит из конденсационных следов — так называемых контрейлов\*. Этот шлейф может сохраняться часами в окрестностях крупных аэропортов с оживленным движением, и тогда конденсационные следы накапливаются и переходят в перистые облака — это еще один механизм воздействия выхлопных авиационных газов на климат Земли.

Необходимо отметить, что проблема загрязнения атмосферы авиацией не исчерпывается лишь изучением и оценкой влияния газовых и аэрозольных продуктов сгорания авиационных моторов на озоновый слой. Существует несколько аспектов проявления последствий такого загрязнения.

Во-первых — фотохимический. Он выражен в изменении соотношения между концентрациями малых, но важных составляющих атмосфер-

ного воздуха вследствие протекания фотохимических реакций. В результате рост содержания одних атмосферных газов (а также аэрозолей) сопровождается убыванием других газовых компонент воздуха.

Во-вторых — радиационный. Колебания в содержании парниковых газов (углекислого газа  $\text{CO}_2$ , водяного пара  $\text{H}_2\text{O}$ , озона  $\text{O}_3$ , метана  $\text{CH}_4$  и др.), аэрозолей и особенно образование перистых облаков ведут к изменению теплового и радиационного балансов системы Земля—атмосфера и, следовательно, к изменению температуры воздуха как в атмосфере, так и у земной поверхности. Справедливо и обратное: колебания температуры воздуха влияют на образование облаков, интенсивность протекания фотохимических процессов, а значит, и на содержание газов в атмосфере. Таким образом, атмосферные фотохимические и радиационные процессы тесно взаимосвязаны.

В-третьих — биологический. От содержания озона зависит поток биологически активного ультрафиолетового (УФ) излучения на уровне поверхности Земли, так как именно этот газ поглощает излучение в области спектра с длиной волны в диапазоне 280—320 нм, опасное для здоровья человека и животных и подавляющее продуктивность некоторых видов растительности.

Таким образом, выбросы авиационных двигателей влияют на жизненно важные элементы экосистемы: качество воздуха, его температуру (а с ней атмосферную циркуляцию и климат) и достигающий поверхности Земли поток УФ радиации. Весь вопрос в том, сколь значительно это влияние. Для количественных оценок воздействия полетов дозвуковой (а в перспективе и сверхзвуковой) авиации на атмосферу и климат Земли важно иметь исчерпывающую количественную информацию о характере выбросов, необходимо создать модели, хорошо описывающие соответствующие атмосферные явления, а также надо учесть отмеченные впечатляющие темпы развития авиатранспорта.

## Что выбрасывают авиадвигатели?

Считается, что при идеальном сжигании топлива в атмосферу должны попадать только  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , молекулярные азот  $\text{N}_2$  и кислород  $\text{O}_2$ , а также  $\text{SO}_2$ , но в реальности помимо перечисленных газов в состав выбросов входят еще оксиды азота, оксид углерода  $\text{CO}$ , углеводородные соединения и сажевые частицы. При этом наибольшая доля авиационного загрязнения в общем приходится на  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а также на азотные оксиды  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  (см. нижнюю строку табл.1); в последней паре более 80% вы-

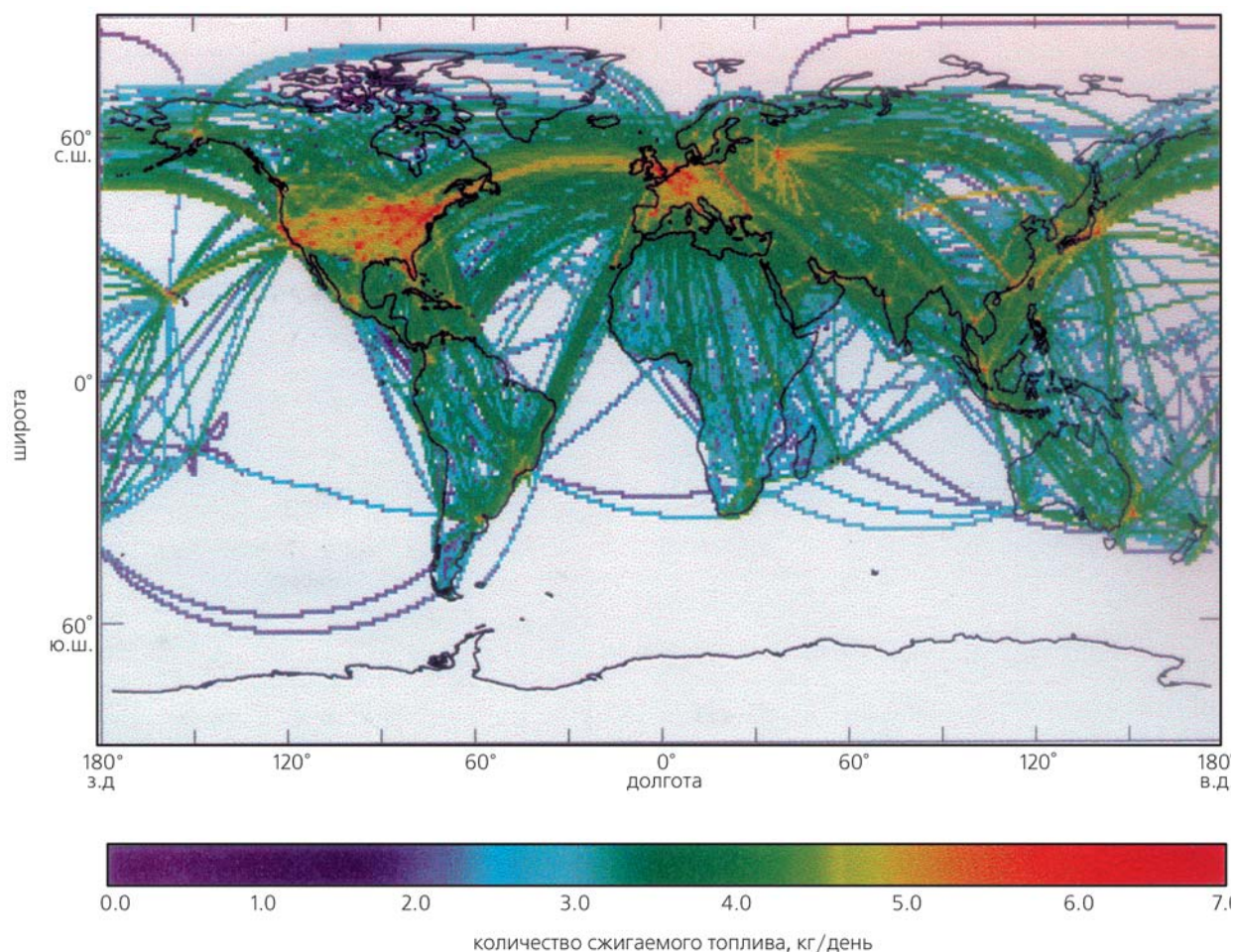
**Таблица 1**  
**Поступление в атмосферу примесей (Мт) от различных источников в 1992 г.**

Источник выброса	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{NO}_x$	$\text{CO}$	Сера	Сажа
Авиационный	370	170	1.8	1.6	0.06	0.006
Общий антропогенный	19 000	$5.3 \cdot 10^{10}$ *	75(2.3**)	600	65	12
Доля авиационного, % от общего	2.0	0.03	2.4(78**)	0.3	0.1	0.05

\* Испарение с поверхности Земли.

\*\* Источник в слое 8—12 км.

\* Contrail (англ.) — белая облачная полоса, оставляемая самолетом в небе.



*Распределение по планете сожженного самолетами топлива в 1992 г.*

броса составляет оксид азота  $\text{NO}$ . Говоря о соотношении между  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ , мы имеем в виду их концентрации непосредственно в момент выхода выхлопных газов из сопла реактивного двигателя. Однако  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  фотохимически тесно связаны, быстро переходят друг в друга, поэтому в исследованиях, посвященных их выбросам, часто используют сумму этих оксидов, обозначая ее  $\text{NO}_x$ . Она отличается большей стабильностью: время жизни  $\text{NO}_x$  в атмосфере достигает нескольких суток.

Состав продуктов сгорания и доля каждого из них в общей массе выхлопных газов полностью определяются техническими характеристиками и режимом работы двигателей, ис-

пользуемых в том или ином классе самолетов. Поэтому, чтобы оценить общий объем попадающих в атмосферу выхлопных газов, нужно знать лишь оснащение каждого класса эксплуатируемых сегодня самолетов (тип и количество двигателей, их характеристики) и, вооружившись расписанием полетов в каждом из аэропортов (а их в мире насчитывается около 1230), определить, какое суммарное время в полете проводят самолеты каждого класса. Приведенные в табл.1 оценки содержат лишь сведения о полетах на основных трассах в 1992 г.

Важная особенность загрязнения атмосферы продуктами сгорания — его неоднородность. Даже человек, никак

не связанный с авиаиндустрией, легко сообразит, что, например, над Австралией или Антарктидой самолеты летают куда реже, чем над Европой, и что наиболее интенсивно движение над густонаселенными и промышленно развитыми Северной Америкой, Европой и над связывающим их Североатлантическим коридором. (Мировыми лидерами авиаперевозок в 1999 г. были аэропорты Атланты, Чикаго, Лос-Анджелеса, Лондона, Далласа, Токио и Франкфурта-на-Майне). Естественно, над этими территориями имеет место и максимальное загрязнение атмосферы авиационными выбросами; это хорошо видно на цветном рисунке и в нижней строке табл.2.



**Таблица 2**  
**Выбросы NO<sub>x</sub> дозвуковой авиацией в 1992 г. над различными регионами (в тыс. т азота)**

Регион	Европа	Евразия	Тихий океан	Северная Америка	Северная Атлантика
Долгота	10°з.д.—27°в.д.	27°в.д.—127°в.д.	127°в.д.—124°з.д.	124°з.д.—70°з.д.	70°з.д.—10°з.д.
Выброс NO <sub>x</sub>	41	36	36	143	36
Доля выброса в общем, %	14.0	12.3	12.3	49.1	12.3
Выброс на 1° долготы	1.11	0.36	0.33	2.65	0.60

Интенсивность загрязнения воздуха по высоте также неодинакова: ее пик приходится на высоты крейсерских полетов (8–12 км), достаточно велико загрязнение приземного воздуха (сказывается значительный расход горючего при взлете), а вот в нижней и средней тропосфере, где самолеты лишь набирают высоту и заходят на посадку, уровень загрязнения невысок. И наконец, объем выбрасываемых выхлопных газов может существенно отличаться в разные сезоны и время суток. Известно, что летом число полетов возрастает приблизительно в 1.5 раза по сравнению с зимним периодом, а, например, многие полеты над океанами совершаются в ночные часы.

### Как будут развиваться авиаперевозки в будущем?

Наряду с инвентаризацией величины и состава современных источников загрязнения атмосферы авиационными продуктами сгорания рассматриваются варианты их развития в перспективе.

Соответствующие прогнозы строятся на базе комплексной оценки эволюции общемировой ситуации с учетом предполагаемого роста народонаселения, уровня экономического развития, усовершенствования различных видов транспорта, появления новой авиационной техники, а также — известных тенденций в изменениях объема и видов продуктов сгорания. Заказчи-

ками для разработки подобных прогнозов выступают международные или национальные институты: Всемирная организация гражданской авиации, Национальное агентство по авионавтике США, Немецкая организация изучения авиационных и космических полетов. Большинство таких прогнозов охватывает период до 2015 г. — срока эксплуатации существующей техники, хотя имеются и долгосрочные сценарии (до 2050 г.). Учитываемая вероятную погрешность при их создании, обычно строятся пары прогнозов, соответствующие наиболее и наименее благоприятному развитию общемировой ситуации.

Каким же видится специалистам ближайшее будущее мировой авиации? Мы уже отмечали, что в последние десятилетия ежегодный прирост авиаперевозок составлял около 5%, и, по оценкам экспертов, он, вероятно, будет таким же в последующие 15–20 лет, пассажиропоток к 2015 г. достигнет 7 млрд человек в год. Значительно увеличится число полетов к 2050 г. (табл.3).

Этот рост вместе с ростом мирового парка авиатехники одновременно потребует

строительства новых аэропортов (их ожидаемое число от 560 до 3150 по минимальному и максимальному сценариям соответственно), а также значительного увеличения расхода горючего, который может достигнуть к 2050 г. от 0.15 до 0.35 трлн баррелей (1 баррель ≈ 159 л), что составит от 8 до 18% мирового расхода топлива. При этом эмиссия NO<sub>x</sub> в атмосферу прогнозируется в размере 3.5–3.8 Мт/год к 2015 г. против 1.5 Мт/год в 1992 г. В более долгосрочной перспективе, к 2050 г., поступление NO<sub>x</sub> в атмосферу могло бы вырасти до 7 Мт/год, если все время использовать современные двигатели и современные виды горючего. Но этот выброс сократится до 4–5 Мт/год при улучшении качества последнего и до 2–2.5 Мт/год при одновременном росте экономичности авиадвигателей.

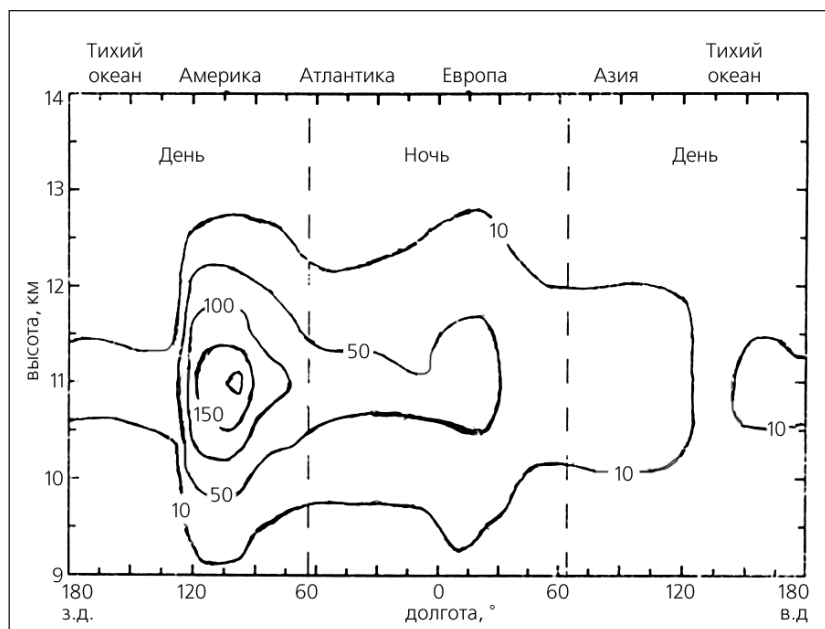
### Атмосфера реагирует

Математические модели позволяют оценить последствия современного и ожидаемого в будущем загрязнений атмосферы выхлопными газами. Гипотеза Г.Джонстона по

**Таблица 3**  
**Современное и прогнозируемое количество полетов дозвуковой авиации в год**

Полеты	1998 г.	2050 г.	
		Минимальное	Максимальное
Пассажирские	10 000	21 200	69 300
Грузовые	1 350	7 800	18 800
Общее количество	11 350	29 000	88 100





Превышение концентрации  $\text{NO}_x$  над фоновой (показано на изолиниях в %) в результате выбросов продуктов сгорания авиационными двигателями в июле 1992 г. Расчет произведен с помощью двумерной модели Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова. Штриховые вертикали — границы раздела освещенной и неосвещенной частей атмосферы.

существо послужила толчком к появлению и развитию атмосферной химии как самостоятельной науки, а с ней к созданию и совершенствованию обеспечивавших ее моделей в комплексе с большим объемом натурных и лабораторных измерений. Вплоть до 90-х годов знания в области атмосферной химии базировались в основном на модельных оценках. В настоящее время все большее значение приобретают измерения малых газовых примесей и аэрозолей на трассах полетов и вне их с самолетов и спутников. Выбор модели инструментом исследований, как правило, зависит от специфики изучаемого процесса (его масштаба, влияния на другие атмосферные процессы и т.д.). Для этой цели сегодня обычно используют двумерные модели с учетом атмосферного переноса по вертикали либо вдоль круга

широты, либо вдоль меридиана, а также и трехмерные модели с полным описанием атмосферной циркуляции, в которых учтены разнообразные химические, радиационные и микрофизические процессы, а в отдельных случаях даже взаимодействие атмосферы и океана.

Наконец, пора рассказать, как же реагирует атмосфера на загрязнение дозвуковыми самолетами. Наибольшим изменениям подвержена концентрация оксидов азота в слое массовых полетов — на высотах 10—12 км, что, конечно, не неожиданность, если сопоставить доли источников от выхлопных газов в суммарных атмосферных источниках (см. нижнюю строку табл.1). Содержание  $\text{NO}_x$  в зоне полетов превышает в два раза и более уровень, отвечающий ситуации без полетов. Максимальные значения concentra-

ции  $\text{NO}_x$  достигаются над Северной Америкой, где загрязнение наиболее интенсивно (см. нижнюю строку табл.2). Это иллюстрируют наши расчеты увеличения концентрации  $\text{NO}_x$  в коридоре полетов в июле 1992 г.; результаты которых представлены на рисунке. К сожалению, модельный результат весьма трудно подтвердить данными измерений. Дело в том, что в тропосфере существуют два источника  $\text{NO}_x$ : оксиды азота образуются не только при работе авиационных двигателей, но и вследствие молниевых разрядов. Как ни странно, последнее явление изучено недостаточно, поэтому оценки молниевых источников  $\text{NO}_x$  очень ненадежны: разброс возможных поступлений чересчур велик (2—20 Мт/год). В такой ситуации сложно установить, какой из двух факторов превалирует, поскольку измерить можно только результат их совместного действия.

Всесторонние исследования экологических последствий полетов транспортной авиации проводились большой международной группой ученых. Наше участие в этой работе заключалось в изучении фотохимического взаимодействия продуктов выбросов с различными молекулярными составляющими окружающего воздуха в течение времени жизни струи (т.е. от момента выброса из сопла двигателя до момента, когда содержание  $\text{NO}_x$  понизится до фоновых концентраций). Оказалось, что время жизни струи может изменяться в средних широтах от нескольких часов при дневных летних полетах до двух суток, если полеты совершаются зимой в ночное время. Естественно, что это время тем короче, чем быстрее рассеивается струя выбросов, смешиваясь с окружающим воздухом. Фотохимические реакции  $\text{NO}_x$  с компонентами окружающего воздуха

приводят к частичному окислению  $\text{NO}_x$  с образованием соединений, не влияющих на содержание озона в атмосфере (таких, например, как азотная кислота  $\text{HNO}_3$ ). Это ведет к снижению объема авиационных оксидов азота в зоне массовых полетов, величина которого зависит от сезона и времени суток полета и достигает в среднем 40 и 20% соответственно для летних дневных и зимних ночных полетов. Полученные нами оценки были подтверждены результатами зарубежных измерений, когда самолеты-лаборатории пересекали струи выбросов рейсовых авиалайнеров над Северной Атлантикой.

Выбросы оксидов углерода ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ) современной транспортной авиацией незначительны по сравнению с их глобальным антропогенным поступлением. Выбросы водяного пара практически незаметны на фоне его глобального испарения, но влажность воздуха быстро падает с высотой, и в слое 8–12 км эти выбросы становятся уже заметными (вспомним конденсационные следы, которые в нижней атмосфере не образуются). Влажность в стратосфере очень мала: основной источник поступления  $\text{H}_2\text{O}$  — окисление метана  $\text{CH}_4$  — привносит около 50 Мт/год. Это в три с лишним раза меньше, чем поступление паров воды от полетов дозвуковой авиации. Но при полетах сверхзвуковой транспортной авиации выбросы  $\text{H}_2\text{O}$  в стратосферу (слой 16–20 км) могут стать значимыми, несмотря на много меньшие объемы перевозок.

Выше уже говорилось о том, что рост концентрации  $\text{NO}_x$  в верхней тропосфере влечет за собой увеличение и содержания озона. Расчеты показывают: в 1992 г. из-за выхлопных газов концентрация озона в слое 10–12 км повысилась примерно на 6%, а ее рост к 2050 г. предполагается

на уровне 13% (такой прирост соответствует увеличению общего содержания озона в атмосферном столбе на 1.2%). Много это или мало? Чтобы ответить на этот вопрос, достаточно вспомнить, что амплитуда сезонных колебаний общего содержания озона в средних широтах составляет 30–35%, а падение концентрации стратосферного озона, обусловленное действием хлорсодержащих соединений (хлорфторуглеродов), оценивается в 4% в 1994 г. относительно 1979 г. Так что реакция озонового слоя на полеты самолетов в тропосфере заметно слабее, чем его естественные колебания или реакция на некоторые другие антропогенные факторы. И еще одно замечание. Памятуя о многочисленных публикациях, посвященных сокращению суммарного содержания озона в атмосфере (озонных дырах), тем не менее радоваться даже небольшому росту содержания озона в тропосфере нет оснований, поскольку озон — сильный окислитель, разрушающий многие материалы (резина, металлы) и наносящий ущерб растительности. А химические реакции с его участием регулируют присутствие в атмосфере многих активных радикалов, например  $\text{OH}$ . Кроме того, увеличение концентрации озона ведет к усилению парникового потепления климата (эта проблема еще ждет своего решения).

Текущее состояние радиационного режима атмосферы обычно описывают разностью потоков излучения — нисходящего (от Солнца к Земле) и восходящего (от Земли в космос) — на уровне тропопauses, расположенной в средних широтах на высоте 12–13 км. Изменение этой разности в результате действия того или иного явления, например извержения вулкана, усиления солнечной активности или

выбросов продуктов сгорания авиадвигателями, называют радиационным форсингом. В последнем случае на величине радиационного форсинга сказываются как прямые выбросы парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) и сажи, так и косвенные эффекты (изменение содержания озона, образование контрейлов и облаков, содержащих ледяные частицы, в следах самолетов). По оценкам специалистов, радиационный форсинг от полетов авиации составил в 1992 г. величину около  $0.05 \text{ Вт/м}^2$  и возрастет до  $0.2 \text{ Вт/м}^2$  к 2050 г. Для сравнения: в 1995 г. радиационный форсинг от достигших в то время максимума выбросов фреона-11 ( $\text{CFCl}_3$ ) был равен  $0.06 \text{ Вт/м}^2$ , но радиационный форсинг, обусловленный общим загрязнением атмосферы за последние два с половиной столетия, достигал  $2.45 \text{ Вт/м}^2$ . Отсюда видно, что вклад современной дозвуковой авиации в эволюцию радиационного баланса системы Земля—атмосфера не превышает нескольких процентов, и хотя он, вероятно, несколько увеличится в обозримом будущем, полеты дозвуковой авиации даже тогда не будут оказывать значительного влияния на климат нашей планеты.

## И что же дальше?

«А стоило ли городить огород?» — вправе спросить читатель. Как выясняется, и климат почти не страдает, и содержание озона близко к норме, а посему биологической катастрофы вроде бы тоже не приходится ожидать. Действительно, сегодня существуют куда более весомые угрозы экологической безопасности как регионального, так и глобального масштаба. И все же не стоит спешить со столь категоричными выводами. Чтобы выяснить реальное положение вещей, потребовались

усилия большой группы специалистов (в том числе и авторов этой статьи) в рамках работы Межправительственной группы экспертов по изменениям климата, а ее результаты нашли отражение в специальном отчете\*. Несмотря на относительную незначительность вклада авиации в загрязнение атмосферы в настоящее время, считать проблему закрытой было бы неправильно по нескольким причинам. Во-первых, история учит: бесконтрольность различных отраслей индустрии при современных темпах их развития часто в очень короткие сроки ставит биосферу на грань локальной либо глобальной катастрофы (так было с использованием хлорфторуглеродов в холодильной, парфюмерной и химической промышленности или с применением нитратов и пестицидов в сельском хозяйстве). Поэтому всякому нововведению, будь то внедре-

\* Aviation and the Global Atmosphere. A Special Report of IPCC Working Groups I and III. Cambridge, 1999.

ние массовых полетов сверхзвуковой транспортной авиации, изменение состава и расхода топлива или модернизация двигателей) должны предшествовать соответствующие теоретические и экспериментальные проработки, включая экологическую экспертизу. Во-вторых, известно, что разработка технологических новаций занимает обычно 5–10 лет, их успешное внедрение требует 15–20 лет, а средний срок эксплуатации самолета равен 25–35 годам. Это означает, что принимающие ответственные решения представители авиационного комплекса становятся заложниками своих же решений по крайней мере на ближайшие полстолетия. Таким образом, цена возможной ошибки очень высока, и необходимо принять все меры к ее недопущению. В-третьих, приведенные в этой статье оценки отражают вклад в загрязнение атмосферы лишь дозвуковой авиации. Использование сверхзвуковой авиации позволит достигнуть любой точки

земного шара не более чем за несколько часов, а скорость — серьезный аргумент в споре за потенциального пассажира. Пока себестоимость таких полетов слишком высока, однако новые технологические решения могут кардинально изменить ситуацию. Поэтому последствия для биосферы от полетов в нижней стратосфере нуждаются в дальнейшем изучении.

Инженерная мысль уже сегодня позволяет использовать, хоть и не в массовом масштабе, не загрязняющие окружающую среду автомобили. Наверно, когда-нибудь будут созданы и экологически чистые комфортабельные самолеты, фантастический прообраз которых — ковер-самолет — известен уже много веков. И тогда у экологов, а значит, и у всех людей, станет одной проблемой меньше. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-05-64254.**

### **Защитники китов — против технократов**

Длившееся пять лет жестокое противостояние защитников китов и технократов завершилось в марте 2000 г.: правительство Мексики и японская корпорация «Мицубиси» отказались от планов строительства испарительных установок для извлечения солей из вод лагуны Сан-Игнасио, которая находится в Калифорнийском заливе (National Geographic. 2000. V.198. №3. P.12. США).

Лагуна включена в утвержденный ЮНЕСКО Список объектов мирового наследия. Каждую зиму серые киты заходят сюда для производства потомства, здесь у них «родильный дом», «ясли» и «детский сад»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Богословская Л.С. Серый кит // Природа. 1996. №12. С.46.

Специалисты пришли к выводу, что работа завода, расположенного на акватории в сотню квадратных миль, будет угрожать жизни китов.

### **Степень загрязненности воздуха и смертность**

В 90-х годах Управление охраны природной среды США начало кампанию за право контролировать содержание в атмосфере твердых частиц не только размерами свыше 10 мкм, но и более мелких — до 2.5 мкм. Эти частицы поставляют в основном автомобильные двигатели и электростанции, работающие на ископаемом горючем<sup>1</sup> (Science. 2000. V.289.

<sup>1</sup> См. также: Европа борется за чистоту воздуха // Природа. 1998. №7. С.38.

№5480. P.711. США).

Влияние таких загрязнителей атмосферы на здоровье человека исследовалось в течение ряда лет. Так, в рамках проекта «Шесть городов» сотрудники Гарвардского университета (Кембридж, штат Массачусетс) 16 лет вели комплексный мониторинг, с одной стороны, показателей здоровья и уровня смертности более 8 тыс. жителей, а с другой — загрязнения воздушного пространства данных местностей мелкими частицами. Аналогичную работу в других 154 городах восемь лет проводило Американское онкологическое общество: наблюдением было охвачено более 500 тыс. человек. Результаты обоих исследований совпали: установлено небольшое, но значимое увеличение числа смер-

тей от сердечно-сосудистых и легочных заболеваний при возрастании концентрации твердых частиц размером от 2,5 мкм.

Однако Американский нефтяной институт и ряд влиятельных промышленных групп подвергли эти выводы критике, указав, что смертность может расти из-за других загрязнителей воздуха, менее здорового образа жизни и др.

Проблемой занялись независимые эксперты во главе с канадским специалистом по медицинской статистике Д.Кревски (D.Krewski). Они проанализировали еще более 30 факторов (высоту города над уровнем моря, состояние муниципального здравоохранения и др.) и пришли к выводу, что связь между концентрацией мелких частиц и ростом смертности существует. Так что в продолжающейся кампании по борьбе с загрязнением воздушного пространства США более предпочтительные позиции занимает сейчас Управление по охране природной среды.

### Сейсмические «всплески» 2000-го года

Наиболее мощное землетрясение в 2000 г. произошло 2 июня в море, у южных берегов о.Суматра (Индонезия). Его магнитуда составила 7.9 по шкале Рихтера (Bulletin of the Global Volcanism Network. 2000. V.25. №6. P.17. США). Ближайший к эпицентру г.Бенкулу с населением около 150 тыс. человек был среди ночи застигнут врасплох. Погибло 97 человек, число раненых превысило 1900, значительная часть построек и сооружений была разрушена или самим подземным толчком, или вызванными им оползнями. Связь и энергоснабжение оказались нарушенными, аэропорт закрыт, что

препятствовало спасательным работам.

Серьезные повреждения отмечались на о.Энгано, в 130 км от Суматры. Сильно ощущалось землетрясение на расстоянии 300 км от эпицентра — в таких крупных городах Суматры, как Палембанг, в районе оз.Лампунг, а также в столице Индонезии Джакарте и в далеком Сингапуре.

Хотя очаг залегал под морским дном неглубоко, а сила толчка была очень высокой, катастрофической волны цунами, к счастью, не образовалось. То же можно сказать и о многочисленных повторных толчках, включая и второй ( $M = 6.6$ ), произошедший через 11 мин после главного.

Наиболее сильное (считая с 1912 г.) землетрясение ( $M = 6.6$ ) постигло 17 июня 2000 г. Исландию. Его эпицентр находился рядом с вулканом Гекла, в 88 км к юго-востоку от столицы — Рейкьявика. Разной степени разрушения отмечались по всей стране, но так как это случилось ясным днем и в момент национального праздника, когда почти все население находилось под открытым небом, смертельных случаев не было. Наибольшим разрушениям подверглись города Хелла и Хвальсволлур, что в 90 и 100 км от эпицентра. Через четверо суток новый толчок (опять магнитудой 6.6) случился неподалеку от первого. Он нарушил водо- и энергоснабжение в ряде городов на западе страны. Около г.Сельфосс в земле появилась трещина длиной 300 м и шириной 1 м.

### Африка, уносимая ветрами

26 февраля 2000 г. над Атлантикой, в 1000 миль от берегов Западной Африки, свирепствовала песчаная буря. Со спутника был получен ее

космический снимок: площадь распространения бури сопоставима с территорией Испании — одно ее «крыло» опустилось на побережье Пиренейского п-ова, а другое вытянулось на запад (National Geographic. 2000. V.198. №3. P.10. США).

С начала 70-х годов число песчаных бурь над океаном неуклонно растет, что связано с жестокой засухой в Сахеле — полосе полупустынь, примыкающей к южной периферии Сахары. К настоящему времени собрана большая коллекция космических снимков этих явлений, но мощь и размеры февральского эпизода вызвали у специалистов особенный интерес.

То, что песчаные бури над Атлантикой происходят нередко, известно давно. Еще Ч.Дарвин, совершая свое знаменитое кругосветное плавание на «Бигле» (1831—1836), обратил внимание на то, что во время нахождения у о-вов Зеленого Мыса в 1832 г. песчаная пыль буквально засыпала все судно.

Сегодня исследованием песчаных бурь — траекторий их движения, объемов и состава переносимого материала — занято множество специалистов. Установлено, что чаще всего бури происходят летом. Вполне возможно, что они способствуют формированию ураганов, обрушивающихся на восточное побережье США<sup>1</sup>. Основное количество песчаной пыли выпадает после ее переноса через Атлантику на юго-востоке страны, а часть достигает даже территории штата Нью-Мексико. Огромная масса пыли (~1 млрд т) ежегодно осаждается в Карибском море.

По мнению некоторых ученых, песчаная пыль вызывает болезни кораллов. Так, американская исследовательница

<sup>1</sup> См. также: Пыль Сахары «нарушает» американские законы // Природа. 1998. №5. С.117—118.



Г.Смит (G.Smith) обнаружила в пробах пыли поражающий мягкие кораллы грибок *Aspergillus*.

Вместе с тем, когда богатые фосфатами частицы песка достигают Южной Америки, они повышают плодородие бедной минеральными солями почвы Амазонии.

## 200 лет изучения астероидов

1 января 2001 г. астрономы всего мира отметили юбилей: ровно 200 лет назад итальянский монах Джузеппе Пьяцци (G.Piazzi), скрупулезно составлявший каталог небесных объектов, записал, что он только что наблюдал «нечто получше, чем простая комета». Это «нечто» медленно двигалось по вечернему небосводу в северо-западном направлении. Великий немецкий математик Карл Фридрих Гаусс вычислил орбиту «звездочки», дал ей имя Церера (в честь древнеримской богини плодородия и урожая) и доказал, что ее местоположение совпадает с положением той «планеты», которую ранее якобы открыл увлекавшийся астрономией венгерский барон Франц фон Зах.

Дело в том, что барон создал из любителей группу «Небесная полиция», которая «патрулировала» видимую Вселенную в поисках «пропавшей планеты»: ее существование предсказывала с 1772 г. теория Тициуса—Боде, опиравшаяся на тот факт, что расстояния между всеми известными членами Солнечной системы распределяются закономерно и лишь между Марсом и Юпитером имеется странный пробел, где и должна скрываться просто еще не обнаруженная большая планета. Ее-то и собирався найти Франц фон Зах.

Вскоре после открытия Джузеппе Пьяцци подобные сообщения посыпались как из рога

изобилия. В 1802 г. в астрономических списках появилась Паллада, двумя годами позже — Юнона, в 1807-м — Веста, и все это будто бы убеждало, что вместо гипотетической «планеты Заха» мы имеем дело с ее обломками. Эти объекты, похожие в телескоп на звездочки, были названы астероидами (звездообразными). Хотя и неточное по существу, название удерживается по сей день. Через столетие после первого знакомства специалисты долгое время пренебрежительно считали астероиды небесными «паразитами», так как их следы на фотопластинках мешали изучать такие величественные объекты, как, например, звездные туманности. Однако интерес к астероидам подспудно рос. В 1867 г. американский астроном Д.Кирквуд (D.Kirkwood) обнаружил, что периоды обращения различных астероидов отчасти согласуются с периодом обращения Юпитера вокруг Солнца (11.2 земных года). Впоследствии этот факт объяснили мощным воздействием гигантской планеты, «не позволившей» когда-то сформироваться еще одному крупному небесному телу в промежутке между нею и Марсом.

В 1918 г. японский ученый К.Хираяма установил: многие астероиды образуют «семейства», которые, по-видимому, возникли некогда в результате столкновения и распада более солидных «родительских» тел. Это открытие привело к пониманию роли, которую подобные катастрофы играют в определении размеров, форм, состава и характера вращения мелких небесных тел.

Новый всплеск наших знаний об астероидах произошел в 60—70-е годы. Оказалось, они обладают «лица не общим выраженьем». Так, старая знакомая Церера отличается очень низкой отражательной способностью и окраской, сходной с ме-

теоритами типа углистых хондритов. Напротив, Веста является наблюдателю ярко светящийся лик, испещренный морщинами лавовых потоков, возникших при сильном нагревании, что роднит ее с базальтовыми метеоритами. Большинство же астероидов относится к «золотой середине» (класс «S») — их отражательная способность и окраска напоминают обычные хондриты.

Подлинный каскад информации об астероидах пролился в 90-х годах благодаря космическому аппарату «Галилео», приборам Космического телескопа им.Хаббла, усовершенствованным наземным радиолокационным приборам. Среди специалистов, далеко продвинувших новую науку, нельзя не упомянуть Юджина Шумейкера (E.Shoemaker), недавно погибшего в автомобильной катастрофе. Недаром НАСА присвоило его имя операции по тесному сближению с астероидом космического зонда «NEAR» («Near Earth Asteroid Rendezvous» — «Встреча с околоземным астероидом»). По этой программе «NEAR» подошел вплотную к астероиду 433 Эрос (перед именем пишут номер астероида в порядке открытия)<sup>1</sup>. Теперь мы владеем гораздо большей информацией об этом теле длиной всего 44 км, о его составе, сходном с обычными хондритами, его топографии, внутреннем строении.

В третий век своей известности астероиды вступают не только как далекие и неведомые астрономические тела, но и как объекты геологического и геофизического изучения (Science. 2000. V.289. №5487. P.2065 США).

<sup>1</sup> По сообщениям НАСА, 13 февраля 2001 г. космический зонд Шумейкера благополучно опустился на астероид. Более подробную информацию см. в следующих номерах «Природы». — *Примеч. ред.*

# НЕЗНАКОМЫЙ КОСТИЦЫН

## «Говорить мне не с кем»

### Из воспоминаний В.А.Костицына

Прежде чем покинуть 1919 год, нужно поговорить об академических делах. Осенью Д.Ф.Егоров сообщил мне, что на ближайшем заседании Московского математического общества я должен сделать доклад и что я буду затем избран в члены общества. Это было для моего самолюбия и для моего научного положения весьма приятное известие. Московское математическое общество выбирало в члены лишь тех математиков, которые зарекомендовали себя научными трудами и вели преподавание в высшей школе. Это были условия необходимые, но недостаточные, как показал недавний в то время пример Дмитрия Павловича Рябушинского [6], который не был избран. Я выбрал как тему «Строение шарообразных звездных куч», вопрос, по которому я опубликовал работу еще в Париже в 1916 году и по которому я продолжал усиленно работать с осени 1918 года. Я сделал доклад весьма благополучно. Болеслав Корнелиевич Млодзеевский весьма вежливо задал мне несколько вопросов, которые он считал ехидными, но которые меня не смущали. Были выборы, и я был избран не единогласно, но хорошим числом голосов. Я уже знал, что Николай Николаевич Лузин вел против меня кампанию, которая не дала больших результатов. После моего избрания он подошел ко мне и меня поздравил, подробно расписав, какую он чувствует радость и почему именно. Я не удержался и спросил его, что он будет говорить, задержав за угол...

Этой же осенью математическая семья потянула одного из своих членов. В той борьбе, которая шла на бесконечных фронтах гражданской войны, симпатии большинства профессуры не были на стороне советской власти. Даже

умеренные социалистические партии имели в высшей школе мало сторонников. Особенно многочисленны были кадеты, а эта партия заняла после февраля 1917 года враждебную позицию по отношению к социализму и после Октябрьской революции стала вдохновительницей южной и восточной реакции. В бесчисленных заговорах, которыми кишела Москва, наряду с кадетами участвовали многие умеренные социалисты, но не им принадлежало будущее и не они были хозяевами. И вот оказалось, что в одном крупном заговоре, раскрытом ЧК, некоторую роль играл профессор-математик Александр Александрович Волков. Это был скромный, тихий и довольно молчаливый человек, который мало принимал участия в довольно откровенных обменах мнениями на текущие темы, которые происходили в математической профессорской. Я его помнил еще со студенческих времен, и ему, молодому приват-доценту, я отвечал на экзамене по аналитической геометрии в 1904 году. Никто не думал, чтобы он мог играть какую-либо роль в каком-либо заговоре, а когда он был арестован, оказалось невозможным узнать, в чем же было дело. Дело было очень серьезно: арестованными оказались очень многие известные политические деятели кадетского толка. Неизвестна была участь С.А.Чаплыгина. Знали, что Волков и некоторые другие лица были арестованы при выходе из квартиры С.А., знали, что у С.А. был обыск, но куда он сам девался, никто не знал, и за него все боялись. Прежде всего нужно было выяснить, что же именно вменяется в вину Волкову и нельзя ли ему как-нибудь помочь. Были мобилизованы все связи в правительственных кругах, но узнали очень немного: на Волкове были найдены зашифрованные документы, расшифровкой которых он занимался. Говорили, так ли это, я не знаю, что он взялся за это дело из чис-

Окончание. Начало см. в №4.



Отто Юльевич Шмидт с В.В.Куйбышевым. 1925 г.

192 11 Апрель 1950. Это же осенью я познакомился с Отто Юльевичем Шмидтом. Свою математическую подготовку он получил в Киеве; в Киеве же он был приват-доцентом. Между февралем и октябрём 1917 г. он занимал крупный пост в Министерстве продовольствия, и в течение нескольких месяцев после октябрьского переворота он был противником советской власти; потом... стал коммунистом и членом Коллегии Наркомапрод. Со стороны все это выглядело нехорошо, и отзывы о нем были плохие. Я не помню, по какому поводу мне нужно было с ним познакомиться. Я увидел в обширном кабинете в здании Новых торговых рядов весьма бородастого человека со слегка немецким акцентом, очень культурного, очень умного и очень любезного. После нескольких минут разговора все мои предубеждения рассеялись и я сразу увидел, что его обращение в коммунизм вполне искреннее и что в случае необходимости у него хватит силы воли.

Страница из воспоминаний Костицына.

то математической склонности к головоломкам, чисто случайно, не имел до этого никакого отношения к заговору. Один видный деятель, с которым я имел беседу, сказал мне, что Волков систематически занимался расшифровкой и зашифровкой переписки с деникинцами и что спасти его невозможно, этому лицу я имел все основания верить. Через несколько дней появился список расстрелянных по этому делу лиц; в нем значился супруги Вахтеровы, Волков, несколько членов ЦК кадетской партии; всего свыше пятидесяти человек; Чаплыгина в списке не было.

Этой же осенью я познакомился с Отто Юльевичем Шмидтом. Свою математическую подготовку он получил в Киеве; в Киеве же он был приват-доцентом. Между февралем и октябрём 1917 года он занимал крупный пост в Министерстве продовольствия, и в течение нескольких месяцев после октябрьского переворота он был противником советской власти; потом... стал коммунистом и все это выглядело нехорошо, и отзывы о нем были плохие. Я не помню, по какому поводу мне нужно было с ним познакомиться. Я увидел в обширном кабинете в здании Новых торговых рядов весьма бородастого человека со слегка немецким акцентом, очень культурного, очень умного и очень любезного. После нескольких минут разговора все

мои предубеждения рассеялись, и я сразу увидел, что его обращение в коммунизм вполне искреннее и что в случае необходимости у него хватит силы воли, чтобы активно защищать свои убеждения. Он очень интересовался московской математической жизнью и московскими математиками, и я сейчас же внутренне решил сделать все от меня зависящее, чтобы подготовить почву для сближения. Это мне удалось. Шмидт очень понравился Дмитрию Федоровичу [Егорову] тем, что с достоинством отстаивал в разговоре коммунистическую политику, отнюдь не стараясь понравиться собеседнику. Шмидт понравился и Б.К.Млодзеевскому. Через некоторое время удалось ввести его и в Московское математическое общество. Вел он себя с очень большим тактом и ни разу не дал никакой фальшивой ноты...

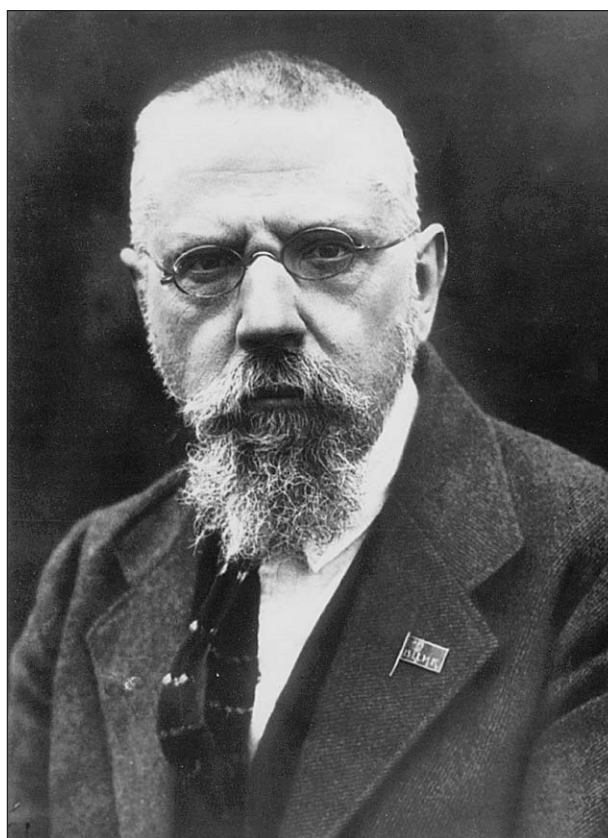
Из старой профессуры нельзя не упомянуть Леонида Кузьмича Лахтина. Любимый ученик Бугаева и его преемник с 1904 года, он записался в Союз русского народа. Вот, казалось бы, достаточные причины, чтобы мы с ним оказались на ножах. Ничего подобного. Я очень скоро оценил его прямоту, твердость в защите своих мнений, большую справедливость, большую доброту. Очень удивленный, я стал наводить справки и узнал, что таким же он был на всех высоких постах и что из Союза русского наро-



да он демонстративно ушел, когда выяснилась погромная деятельность этой организации. В советское время он очень много работал по математической статистике, и как ученый, и как практический деятель работал не за страх, а за совесть; на этой работе он и погиб, простудившись в нетопленных помещениях.

Я уже упоминал Б.К.Млодзеевского, а о нем следует сказать кое-что. Для всех студентов-первокурсников всегда первым математиком в университете бывал Болеслав Корнелиевич. Он читал курс аналитической геометрии и обладал даром слова и педагогическим талантом, он читал его блестяще, с необыкновенным изяществом и с чрезвычайной ясностью. Он импонировал студентам своей манерой держаться. Если какой-нибудь студент позволял себе выйти из аудитории, Б.К. останавливался обязательно на полуслове, поворачивался к дерзкому и сопровождал его взглядом до самой двери. Как только дверь закрывалась, он договаривал вторую половину слова и продолжал дальше. На зачетах и экзаменах он бывал всегда необычайно вежлив и язвителен; часто бывали диалоги в следующем роде: «Может быть, вы нам скажете любезно, чему равен эксцентриситет параболы?» — «Как будто единица», — отвечает напуганный студент. «А может быть, вы уточните ваш ответ; что же это в конце концов, единица или около единицы?» — «Как будто около единицы». — «А больше или меньше единицы?» — «Как будто меньше». — «Так, а насколько именно? Ну скажите в сотых долях, приблизительно». — «Около пяти сотых». — «Ну что же, принимая во внимание ваши усилия, я из вашей отметки не вычту этих пяти сотых». Студенты ему не прощали, что он вместо того, чтобы просто погнать на место, разыгрывал эти маленькие сцены. Таким он был во всех своих выступлениях; между тем, если откинуть эту форму, говорил он весьма умно и дельно. Он сам первый пострадал из-за своей язвительности: ему не удалось образовать школы. Оставленные им при университете старались всегда его покинуть. Он видел это, мучился и не понимал, в чем дело.

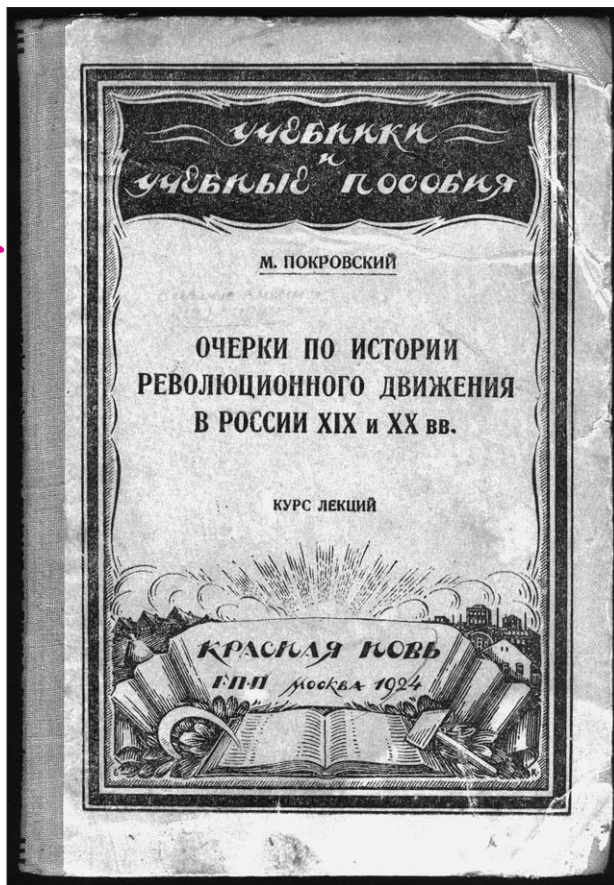
Когда он объявил специальный курс по теории функций действительного переменного, велико было наше ликование; мы (Лузин, Фиников, Бюшгенс, Некрасов и я) надеялись иметь блестящее изложение новейших работ, столь же блестящее, как тот курс аналитической геометрии, который дал нам столько удовольствия и пользы. Ничего подобного. Курс читался по устаревшим немецким учебникам, с большою неуверенностью, хаотично, и предметом лектор явно не владел. Это было тем более удивительно, что все публичные выступления Млодзеевского всегда были чрезвычайно блестящи...



Михаил Николаевич Покровский.

Раз в неделю мне приходилось участвовать в заседаниях Государственного ученого совета — вечером по пятницам в помещении бывшего учебного округа у храма Христа Спасителя. Это было очень интересное и очень важное учреждение в эпоху, когда все старое ломалось, и искались новые пути. Через него проходили все дела, касающиеся высших учебных заведений и научных учреждений, уставы, программы, учебные планы, назначения профессоров и т.д. Председателем его был заместитель народного комиссара просвещения Михаил Николаевич Покровский\*, которого я хорошо знал по работе в партии и по эмиграции начиная с 1905 года. В настоящее время принято говорить о нем как о вредителе. Это неверно, и я думаю, что мой голос имеет вес в этом вопросе: никто не сражался с Покровским так упорно, как это делал я; никто ему не высказал столько

\* Покровский М.Н. (1869—1932) — историк, партийный и государственный деятель, академик АН СССР. Руководитель Коммунистической академии, Института красной профессуры. Автор пятитомной «Русской истории с древнейших времен» (1910—1913), «Русской истории в самом сжатом очерке» (1920), трудов по истории внешней политики, революционного движения, историографии. В конце жизни обвинен в методологических ошибках и дискредитирован.



Одно из многих изданий курсов лекций М.Н.Покровского, выходявших в 20-е годы.

неприятных истин, как я; и редко кто относился столь отрицательно к его деятельности, как я, и все-таки вредителем он не был. Это был человек с очень крупными достоинствами и с огромными интеллектуальными и моральными дефектами. К марксизму и к социализму он пришел сравнительно поздно, пройдя в политическом отношении через «Освобожденчество» и в научном через школу Ключевского. Зная это про себя, он при обсуждении каждого вопроса вспоминал, как его решали соответственно Струве или Ключевский, и старался дать иное решение, хотя бы вопрос был решен вполне правильно. Зная, что новое всегда борется со старым, он заискивал перед новым и ничего так не боялся, как быть обвиненным в старческом застое мысли. Поэтому, думая про себя иначе (и иногда *post factum* высказывая в дружеском разговоре свои действительные мысли), он всегда старался проводить более «молодые решения». Пока дело было в эмиграции и касалось бумажных революций, это было терпимо, но в Москве, когда к нему приходили молодые коммунисты, молодые рабочие, он сразу и без спора подписывал все, что от него требовали,

а потом брал себя за голову, охал и жаловался.

В 1905 году он принадлежал к лекторско-литературной группе при Московском комитете, и меня часто посылали к нему <...> по разным делам от имени студенческой партийной организации. После восстания декабря 1905 года появился сборник «Текущий момент», в котором была статья на военные темы в историческом аспекте, подписанная М-ый. Статья нам понравилась, и мы решили пригласить автора (Покровского) работать в организации в качестве «теоретика». Он охотно согласился, получил кличку «Домовой» (я помимо Семена Петровича для некоторых категорий товарищей был Водяным) и больше не показывался ни разу. Потребность в его присутствии мы не ощущали, и он отпал сам собою. Поэтому, когда на летней конференции Московской организации была выставлена его кандидатура в Московский комитет, он смотрел на меня с большим страхом, боясь, что я расскажу о его работе у нас. Потом на некоторое время я потерял его из виду и встретился с ним лишь в эмиграции, в Париже, осенью 1909 года.

Он был в оппозиции к Ленину и принадлежал к группе «Вперед» вместе с Луначарским, Богдановым, Алексинским, Мануильским и многими другими. Сейчас это звучит курьезно, но оппозиция была «слева». Был очень забавный момент, когда на одном из собраний парижской группы, во имя идеи права, Покровский отстаивал право уральских экспроприаторов на захваченные деньги, а Ленин сказал ему с презрением: «По вашей логике вы должны были бы отстаивать такие же права буржуазии; думать надо, товарищ Покровский, головой надо думать». Статьи Покровского представляли из себя смесь очень остроумных и метких выражений с абсолютно абсурдными мыслями. Он как-то не умел найти, что существенно, а что нет, и шел скорее руководимый притяжениями и отталкиваниями, чем здравым смыслом.

Оказавшись за границей, без возможности продолжать научную карьеру, он возненавидел профессию и писал в заграничных изданиях чудовищно лживые вещи о русской науке и о русских ученых. Марксистский метод он понял как абсолютное первенство экономического фактора над всеми остальными, и из своих исторических работ он исключил все события, все исторические вехи, кроме развития экономики. Помня полемику с Михайловским по поводу роли героев в истории, он из программы Научно-популярного отдела в Госиздате выкинул биографическую серию и очень сконфузился, когда Воровский ему напомнил о серии «Кому пролетариат ставит памятники», введенной в программу по указанию Ленина. Когда началась война 1914—1918 годов, он понял «пораженчество» Ленина не как борьбу со всеми

империализмами — союзническими и немецким, а как борьбу с союзническим империализмом и отстаивал правильность поведения немцев даже там, где отстаивать было невозможно. В личной жизни он был чрезвычайно несчастлив и старался разрешить все трудные и запутанные вопросы, как полагается социалисту, т.е. с человечностью и достоинством. Может быть, именно в этом он был наиболее самим собой.

Оказавшись замнаркомом при наркоме Луначарском и понимая, что мало что переменилось бы, если бы было наоборот, он чувствовал большую обиду и очень часто ворчал на все, что делалось, иногда совершенно по обывательски. При рассмотрении личных ходатайств, которые сыпались без числа, он проявлял неизменно большую доброту, настоящую, не походившую на болтливую доброту Луначарского...

Таким образом, уже к концу 1919 года я основательно оброс различными, обязательными занятиями, бравшими значительное время, и это при полном отсутствии городских путей сообщения.

Времени у меня оставалось для дома все меньше и меньше. Оно еще уменьшилось, когда неожиданно пришел ко мне Дмитрий Александрович Магеровский с неожиданным предложением. Это был весьма бойкий молодой профессор факультета общественных наук, когда-то (т.е. очень недавно) левый эсер, участвовавший даже в восстании левых эсеров в Москве летом 1918 года, чуть было не расстрелянный Бела Куном, покаявшийся и ставший коммунистом. Д.А. был председателем так называемого Книжного центра, помещавшегося в одном из старых домов напротив «Континенталья». Этот Книжный центр, зависевший одновременно от Академического центра (Покровский) и от Госиздата (Воровский), представлял из себя гибрид со смешанными функциями: на его обязанности лежало создание новой научной литературы и при нем были бесчисленные комиссии из профессоров по всевозможным специальностям; кроме того, он должен был скупать и собирать научные библиотеки и из этого книжного фонда снабжать высшие учебные заведения и научные учреждения. Всякий раз, когда я проходил мимо, я испытывал желание попасть в одну из комиссий по моей специальности. Легко представить себе, как меня заинтересовало предложение Д.А., состоявшее в следующем: так как он должен был уехать на Украину в длительную командировку в качестве замнаркома юстиции, то мне предлагалось стать членом коллегии и заместителем председателя с тем, чтобы в отсутствие Д.А. исполнять обязанности председателя. Коллегия состояла из Н.М.Лукина и В.П.Волгина, с которым мне было очень легко поладить; третьим членом был сам М.Н.Покровский, который, конечно, ни-

когда не приходил, но под протоколами подписывался. Книжный центр имел рабочий аппарат: секретариат, издательский отдел, книжный склад. В качестве главы учреждения бывать нужно было ежедневно. Мы с тобой посоветовались, и я согласился. Мне пришлось перенести мои остальные занятия на вторую половину дня...

В Книжном центре шла обычная рутинная работа комиссии, заключались договоры, но ничего не печаталось. Я много раз ходил по этому поводу ругаться с В.В.Воровским, который неизменно встречал меня фразой: «Скажете, что вас так гневит?» Я ему излагал, что именно, и вносил разные практические предложения, в том числе передать нам в эксплуатацию маленькую, но хорошо организованную типографию, не помню уже какого издательства. Он старался всегда рядом литературных фраз охладить мой издательский пыл, обращая мое внимание на положение страны и т.д. Я ему отвечал, что положение страны не станет лучше от бездействия типографий и от отсутствия элементарных учебников, я ему указывал на деятельность частных издательств. Он разводил руками и не предпринимал ничего. Я обращался к Михаилу Николаевичу, который отвечал путаными рассуждениями, чтобы обосновать помарксистски квиетизм. На каждом заседании нашей коллегии мы требовали без результата сдвига с мертвой точки...

Как раз в это время заговорили снова о Курской магнитной аномалии. Красин обратился к Лазареву с предложением заняться этой работой. Московские физики, которые не терпели Лазарева, заговорили везде о том, почему собственно опять фигурирует Лазарев. Я отправился в Научный отдел наркомпроса к Д.Н.Артемьеву, чтобы переговорить об этом деле и, кстати, о других делах. Научный отдел сидел в бывшем округе — старом учреждении и со старинной мебелью. У Дмитрия Николаевича в кабинете были великолепные старинные кресла с бархатной фиолетовой обивкой, для него самого и для его посетителей. И вот я восседаю напротив него в таком кресле и излагаю ему свои дела. Он внимательно слушает. Я опускаю глаза на документы, поднимаю их: что за притча? Д.Н. сидит против меня в католической сутане и с тонзурой на голове. Еще несколько секунд: снова он в его обычном виде. Через несколько минут я снова роюсь в документах, снова поднимаю глаза, снова вижу Д.Н. в сутане и с тонзурой. Что за глупость? Откуда это? Он — видный коммунист, видный ученый, ректор Горной академии, член коллегии НЖО ВСНХ, заведующий Научным отделом Наркомпроса, чисто русский: уж больше было бы оснований видеть его в православной поповской рясе.



Тут я принужден несколько изменить хронологический порядок и сделать два прыжка вперед. Через два года, в 1922 г., Д.Н. испрашивает научную командировку, уезжает в Чехословакию и не возвращается. В 1923 году осенью мы с тобой находимся в Париже и навещаем Владимира Ивановича Вернадского и его жену. Я уговариваю Вернадского вернуться в Россию; мы очень долго спорим, иногда оставляем этот вопрос и говорим о других вещах. Я ему задаю вопрос, не знает ли он, что случилось с его учеником Артемьевым. «Как же, знаю, — отвечает он мне. — Артемьев принял католичество и стал католическим священником, сейчас он находится в Риме при библиотеке Ватикана».

Но вернемся в Москву к апрелю 1920 г. Д.Н. обещает мне заняться вопросом о Курской магнитной аномалии, и мы с ним весьма любезно расстаемся. От него никаких больше известий по этому делу я не имел, но несколько дней спустя я получил от П.П.Лазарева весьма любезное извещение о моем назначении членом Комиссии по изучению Курской магнитной аномалии с приглашением на ближайшее заседание. На заседание комиссии я иду с заранее принятым решением во всем и всюду быть против П.П.Лазарева, но картина, которую я застаю, заставляет меня задуматься и изменить мое решение. Заседание было весьма многолюдное. Из присутствовавших я помню Андрея Дмитриевича Архангельского, профессора геологии у нас на факультете, геофизиков из университета же Бастамова и Пришлецова, с которыми я был знаком уже, несколько магнитологов из Морского ведомства, присланных академиком А.Н.Крыловым, профессора Горной академии по горной разведке Ключанского, доцента той же Академии Ортенберга, представителя Горного управления ВСНХ инженера Кисельникова и еще нескольких лиц.

Выясняется, что рукопись Лейста (профессора Московского университета. — *Н.С.*) с результатами его магнитной съемки была им передана немцам, что некий крупный консорциум из Берлина предлагает на некоторых условиях взять концессию на полосу Курской магнитной аномалии; очевидно, он и является владельцем материалов Лейста; у нас ничего нет, кроме рукописи Лейста, содержащей общее описание магнитного поля в этой области, но без всяких географических указаний и без числовых данных. Что делать в таких условиях? Лазарев и Архангельский предлагают принять предложение Красина о быстрой, хотя бы и упрощенной, магнитной съемке и немедленно к ней приступить. В этом пункте разногласий как будто нет, но они начинаются, как только поднимается вопрос о методах съемки и об инструментах для ее осуществления. Кисельников, Ключан-

ский и Ортенберг настаивают на шведских инструментах и на шведских методах, Лазарев и Архангельский на использовании так называемых «котелков» морского ведомства, т.е. буссолей, снабженных дефлекторами де-Колонга. Разница весьма существенная: на всю Россию имеется только два шведских инструмента, и тут же выясняется, что даже сам Ключанский не умеет ими пользоваться; «котелков» имеется несколько десятков, и в лице штурманских офицеров имеется нужное количество квалифицированных наблюдателей. Кисельников, Ортенберг и Ключанский не пренебрегают ничем, чтобы сорвать намечающуюся работу. Естественно, что в таких условиях я нашел нужным драться за патриотическое решение вопроса, хотя бы и в обществе П.П.Лазарева...

К этому времени относится одно любопытное дело. Астрономы ввели меня в Московское общество любителей астрономии, и очень скоро я оказался членом правления этого общества. Общество было того же типа, как Французское астрономическое общество, т.е. оно объединяло серьезных научных работников с любителями, иногда очень невежественными, но большими энтузиастами. Среди этих последних оказался личный шофер Дзержинского. Его ввел один молодой студент — Волохов, который некоторое время работал в ЧК и там пропагандировал в астрономическом направлении нескольких работников. Этот шофер подал по начальству записку с просьбой назначить его директором Московской обсерватории. Записка с сопроводительной бумагой поехала в Совнарком, откуда была переслана в Наркомпрос, откуда она поехала в Главнауку... Велик был испуг директора обсерватории Блакко, когда он узнал, какой кандидат добивается его места. Велик был испуг на обсерватории: шофер самого Дзержинского! Ветер паники подул и в Обществе любителей астрономии. Это дело потребовало ряд заседаний специальной комиссии. Все старались убедить шофера, что он не годится в директора, но тот победоносно отстранял все словесные атаки: «Скажите, что легче — быть директором обсерватории или народным комиссаром по морским делам? А кто был комиссаром? Такой же матрос, как и я. И уж ручаюсь вам, что тов. Дыбенко глупее меня и хуже знает морское дело, чем я — астрономию. Если мне понадобится консультация — чего лучше (тут он рукой обнял Блакко) — вот мой консультант: и компетентный, и честный, а захочет посаботировать — чека за мной». При этих словах «консультант» зеленел. Я предлагал несколько раз комиссии голосовать вопрос, который был совершенно ясен, и, странное дело, члены комиссии, которые в частных разговорах были со мною совершенно соглас-

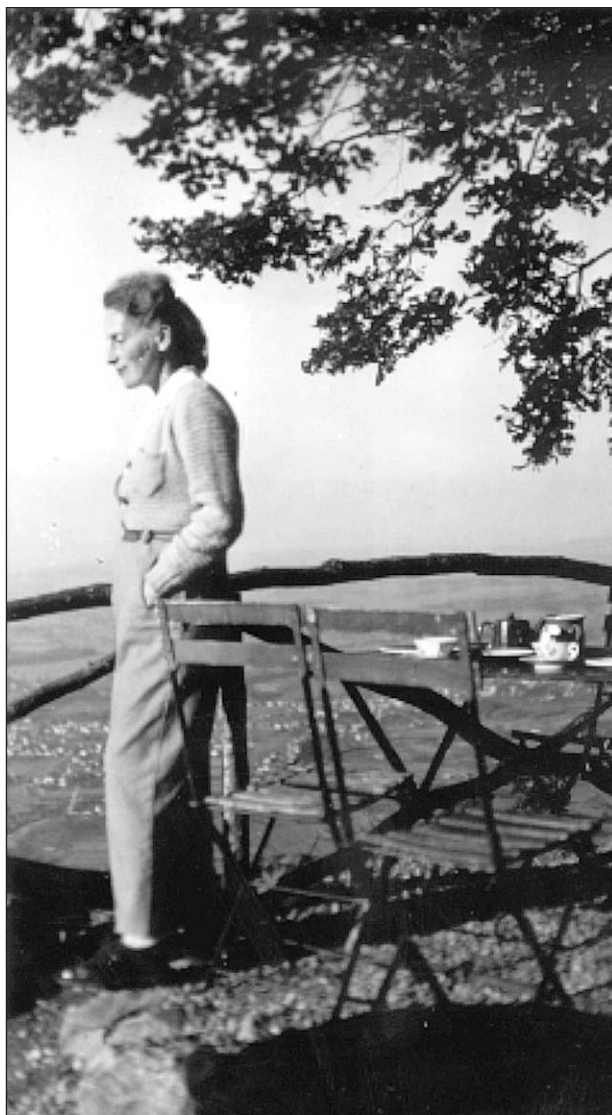
ны, от голосования отказывались, так как вопрос-де был еще «недостаточно освещен». Тогда я пошел к Покровскому и через него, не говоря ему в чем дело, получил свидание с Менжинским. Когда я ему описал всю эту картину, Вячеслав Рудольфович хохотал до упаду и обещал воздействовать на шофера. Так вдруг, за отсутствием кандидата, прекратилась деятельность комиссии...

Общее положение в стране становилось все хуже и хуже. Гражданская война кончилась, но вызванная ею разруха усиливалась. Громом грянуло Кронштадтское восстание, которое заставило пересмотреть положение и найти какой-то выход. Этот выход был нэп, и преддверием к нему явился выпуск червонцев, хотя и бумажных, но встреченных восторженно. Положение научных работников, как и всех, получающих зарплату в падающих рублях, стало еще хуже. Собственно зарплата утратила всякий смысл, но деньги в червонных рублях становились нужнее, чем когда-либо, с открытием магазинов, где было все, но в твердой валюте.

Академический паек становился все хуже и хуже, а в Петрограде все продукты в нем были заменены селедками. Представители Академии наук не отходили от Максима Горького, а Максим Горький не давал покоя Ленину. Было решено отправить специальную комиссию в Петроград из представителей Наркомпрода, Наркомпроса и профсоюзов для обследования положения ученых в Петрограде.

От Наркомпроса представителем был назначен я. В Петрограде к нам должен был присоединиться Максим Горький и от Академии наук А.Е.Ферсман. Было совершенно недопустимо, например, что в Петроградском порту существовала артель грузчиков, в которую входили профессоры, что гордость нашей науки астроном Белопольский ходил пешком из Пулкова в Петроград за академическим пайком, таща его обратно на своих плечах. Про Дом ученых говорили, что это Родэвспомогательное учреждение, по имени знаменитого Родэ, в прошлом владельца широко известной «Виллы Родэ», а ныне заведующего Домом ученых под наблюдением Максима Горького.

С другой стороны, Петросовет жаловался, что на академический паек напали лица, не имеющие никакого отношения к науке. Наконец, очень обширная группа интеллигенции (писатели, артисты и т.д.) совершенно ничего не получала и находилась в бедственном положении. Обо всем этом мы поговорили еще в поезде, пришли к полному соглашению и наметили программу действий. После неизбежной остановки в Доме ученых мы должны были повидать Горького и Ферсмана, затребовать представителя Петросовета и с ним заняться про-



*Юлия Ивановна во время путешествия по Швейцарии. 1946 г. Из тетради воспоминаний.*

смотром списков пайков, чтобы снять с Петроградской комиссии улучшения быта ученых обвинения в легкомысленном фаворитизме и обработать этого представителя, чтобы иметь поддержку на заседании Петросовета, где мы должны были выступить с докладом. Спутники мои были настроены гораздо благоприятнее к ученым, чем вся головка Наркомпроса вместе взятая.

В Доме ученых нас встретил, конечно, Родэ, приблизительно так, как он встречал на «Вилле Родэ» петроградского градоначальника. Все было на месте, и простыни, и одеяла, и подушки, нас ждал прекрасный утренний завтрак. Во время завтрака пришел Алексей Максимович познакомиться с нами и быстро понял, что нас пропагандировать не нужно. Обедать мы долж-





*Фасад и парадная лестница петроградского Дома ученых (ранее дворца великого князя Владимира Александровича), где происходила описанная Костицыным его встреча с Горьким и Родэ.*

ны были у него, но до обеда нам предстояло много работы. Я должен был повидать петроградского уполномоченного Наркомпроса Кристи: визит вежливости, а главное, мне предстояло вместе с Ферсманом и представителем Петросовета просматривать списки. Мои спутники должны были заняться разговорами, пока в частном порядке, с петроградскими продовольственниками и профсоюзными деятелями, чтобы выяснить обстановку, ознакомиться с возможными возражениями и успеть найти противоядия. Заседание Петросовета должно было иметь место на следующий день, а после обеда нам предстояло под руководством Горького осмотреть редчайший музей: склад предметов искусства, конфискованных у знати и буржуазии.

Представитель Петросовета (не помню, кто это был; кто-то из видных петроградских коммунистов) был настроен чрезвычайно недоверчиво, но он явно был слабо подкован для того, чтобы противостоять Ферсману и мне. С Ферсманом как местным и хорошо знакомым человеком представитель мало считался. Но я имел авторитет человека центра; притом у меня была

огромная практика, приобретенная при бесчисленных переговорах в разных московских учреждениях. Я мог легко указать, какую пользу советское хозяйство может извлечь из математики и даже из археолога. К тому же и Маркс, и Энгельс, и Ленин пользовались всевозможными научными данными.

Просматривать весь материал не было никакой возможности: было несколько тысяч анкет, но мы просмотрели все спорные, признали все правильным, составили протокол и все трое его подписали, что было особенно важно для следующего дня. Так прошло мое время до обеда. Около двух дня я встретился с моими спутниками, которые также не потеряли зря времени: они выяснили наличие огромных и разнообразных запасов продовольствия на складах Петросовета и полную возможность восстановить академический паек в надлежащем виде.

У Горького мы нашли Ферсмана, Родэ и кого-то из сановников. Когда мы взглянули на стол, у нас разбежались глаза: закуски всех сортов, бутылки и флаконы всех цветов; можно было спросить, где мы: на «Вилле Родэ» до войны



и революции или в голодном Петрограде 1921 года. Горький, в ответ на наши комплименты, указал на Родэ и сказал: «Все он, все он, он достанет что угодно». Компания была явно пьющая, и я сразу взял себя под наблюдение, чтобы не перейти нормы и пить разумным образом. Давно уже не видел я такой свежей зернистой икры, такой семги, таких грибков и такого качества водки. После закуски последовал чрезвычайно обильный обед: прекрасная рыба, дичь, рокфор, настоящий рокфор; десерт, кофе. Вина были безукоризненные, в каждый момент обеда в точном соответствии с блюдами. Разговор вертелся на текущем моменте. Кроме меня, все были коммунисты, кажется, даже Родэ. Говорили очень откровенно, и все ждали перемены курса и хотели ее, находя положение невозможным. Про Ленина кто-то сказал так: «Только он способен завести в такой тупик», а я добавил: «Но только он может из тупика вывести».

К концу обеда Горький потребовал, чтобы Родэ рассказал свои воспоминания о... «Вилле Родэ». Рассказывал он превосходно, была видна меткость. Наблюдательность и ирония. К сожалению, я забыл его рассказы и не мог бы повторить его словечки. Вот образчик. На «Вилле Родэ» водку подавали в чайниках (сухой режим!), и гарсоны должны были по виду клиента решать, какой ему чай нужен. Приходит генерал, садится, зовет гарсона и требует чая. Гарсон смотрит: нос красный и все признаки. Он приносит водки. Генерал наливает в стакан, подносит ко рту, глотает и давится. «Патрона!» Оказывается, это градоначальник. Является Родэ. — «Вы знаете, чем это пахнет?» — «Так точно, ваше превосходительство, 3000 штрафа и три месяца тюрьмы». Градоначальник засмеялся. «Ладно на этот раз, но чтобы больше этого не было».

После обеда мы поехали в склад-музей, который находился во дворце какого-то из великих князей. Картины были развешаны по школам, эпохам и странам в настоящем музейном порядке. Скульптуры также занимали самые для них выгодные места. Я был поражен и количеством и очень высоким качеством всего, что было выставлено. «Тут достаточно художественного материала, чтобы удвоить Эрмитаж, даже не спускаясь ниже первого сорта», — ответил мне Горький.

«Что же вы предполагаете со всем этим делать?» — «Если не разворуют, то наилучшие вещи попадут в государственные музеи, а также в новые провинциальные музеи: нужно распространять художественную культуру в массах. Часть пойдет за границу, в товарообмен, особенно вот это...» С этими словами он открыл потаенную дверь и ввел нас в секретное отделение, где были сосредоточены вещи сексуального характера. Ни до, ни после я не видал ничего

подобного. Целые комплекты мебели — диваны, столы, кресла, стулья состояли целиком из мужских и женских половых органов; пепельницы, тарелки, блюда, чашки несли на себе эротические рисунки; картины изображали сцены изнасилований, извращений. Целый ряд залов был занят этими вещами. Горький зорким взглядом художника наблюдал наши реакции и посмеивался про себя.

«И что же, хорошо идет этот товар?» — «Еще как, требуют сейчас особенно много в Англию, товарищ Красин пишет...» — «А это тоже разворачивается?» — «Нет, сейчас не так; мы приняли меры, не беспокойтесь, а вот был тут один градоначальник, уже наш, после Октября, который прислал сюда грузовики с ордерами. Служащие имели глупость выдать все, что он требовал, грузовики отправились в Финляндию, и сам он сбежал туда же...»

После этого осмотра мы вернулись в Дом ученых, ужинали там же и легли спать рано, предварительно потребовав Родэ с отчетностью Дома ученых. Мои спутники старались найти в отчетности съеденный нами обед, но где же им было изловить Родэ. Обед был там, но разыскать его было невозможно.

В Петросовете, куда мы все направились на следующее утро, заседание открылось речью члена президиума Авдеева, к кругу ведения которого как раз все это относилось. Я видел его в первый и в последний раз. Он заявил, что собственнно не понимает, почему об ученых нужно больше заботиться, чем о других категориях граждан, но поскольку центр на этом настаивает, что же, можно подкормить более молодых, а старые не нужны и пусть умирают. Я, конечно, сейчас же использовал его выступление на все 200%, выразив удивление, что коммунист способен до такой степени отклоняться от партийной точки зрения, и объясняя это возрастом и полной политической безграмотностью. После этого резкого начала я изложил причины, по которым страна нуждается в ученых и не когда-то потом, а именно сейчас. Я изложил затем те практические меры, которые необходимы теперь же и закончил надеждой, что петроградская пресса в своих отчетах не упомянет выступления Авдеева, как слишком компрометирующего...

Затем выступали представители писателей и артистов, говорившие о совершенной голодухе и умолявшие о помощи. Их выступление носило патетический характер, и им были даны некоторые обещания. Наш план был принят. Мы выполнили свою задачу и смогли в тот же вечер выехать в Москву. Не знаю, были ли сдержаны обещания, данные писателям и артистам, но по отношению к ученым они были выполнены...

© Публикация **Н.А.Сидорова** ■

# Возвращение Нерукотворный памятник Костицыну

А.В.Бялко,

доктор физико-математических наук  
Москва

Поразительно, что при высочайшей общественной активности в революционной России В.А.Костицын успевает заниматься и собственной научной работой. Надо сказать, что деятельный характер Владимира Александровича довольно быстро увел его в прикладные области от чистой математики. Там, впрочем, он успел завоевать достойный авторитет. Его ранние работы 1909—1913 гг. по системам ортогональных полиномов, опубликованные в московском «Математическом сборнике» и во французском журнале «Comptes Rendus», получили высокую оценку ведущих математиков России Д.Ф.Егорова и Н.Н.Лузина.

Но кипучая жизнь рождала практические задачи, и Костицын сумел продемонстрировать, как полезна фундаментальная подготовка для их решения. Еще в условиях гражданской войны советское правительство поставило перед Академией наук вопрос о практической разработке колоссального месторождения железных руд в Курской губернии, не имевшего выхода на поверхность, но проявлявшегося в виде сильных отклонений магнитного поля от стандартного направления. Это явление получило название Курской магнитной аномалии. Первые измерения магнитных полей были проведены еще до революции профессором Московского университета Э.Е.Лейстом, но их точность и количество оказались недостаточны для определения того, где и на какой глубине находится месторождение железных руд. Кроме того, часть данных находилась в Германии и была недоступна для обработки. Комиссия по исследованию Курской магнитной аномалии начала работу в ноябре 1918 г. под научным руководством академика П.П.Лазарева, затем ее возглавил академик И.М.Губкин. Костицын принял участие

уже в первом заседании комиссии в сентябре 1920 г. Была организована геодезическая и магнитная съемка, а также измерение гравитационных аномалий. В результате к 1922 г. измерения были проведены, а с непосредственным участием Костицына была решена и математическая задача картирования источника магнитных аномалий. В апреле 1923 г. бурение подтвердило правильность расчетов, из скважины был извлечен образец, оказавшийся железистым кварцитом. В том же году вышла из печати брошюра Костицына «Курская магнитная аномалия». К сожалению, глубина залегания месторождения оказалась довольно большой, поэтому его промышленная разработка началась только в 1959 г.

Другую научную тематику, в которую Костицын внес вклад, не утративший своего значения до сего времени, можно в целом назвать автоколебаниями природных систем. Осцилляции свойственны многим естественным процессам: это и периодические процессы, связанные с годичным движением Земли вокруг Солнца и с суточным ее вращением вокруг своей оси, это и механические колебания маятников, струн, мембран. Все эти движения описываются дифференциальными уравнениями, они были хорошо изучены математиками и физиками XVIII и XIX вв. Но за то же время был обнаружен ряд природных процессов, которые испытывали нерегулярные (квазипериодические) колебания. Наиболее яркие их примеры — это ледниковые периоды Земли (с характерными временами 100 и 40 тыс. лет), циклическая активность Солнца (11 лет), наконец, автоколебания биологических систем, из которых хорошо известны сильные вариации численности песцов и леммингов, обитателей тундры.

Физическое и математическое описание таких систем в начале века оставалось загадкой.

© А.В.Бялко

Причина 11-летнего цикла Солнца не ясна и до сих пор, объяснения ледниковых периодов многочисленны и продолжают вызывать научные споры, но математические описания автоколебаний систем хищник—жертва и химических автоколебательных реакций Белоусова—Жаботинского стали ясны во многом благодаря работам Костицына.

Подходящим математическим аппаратом для описания систем, испытывающих автоколебания, оказались интегральные уравнения. Они часто возникают при описании поведения индивидуального объекта в среде, свойства которой зависят от всей совокупности подобных объектов. Теория интегральных уравнений стала быстро развиваться после работы шведского математика И.Фредгольма, опубликованной в 1900 г. Далее эту тематику развивали выдающиеся ученые Д.Гильберт и А.Пуанкаре, а в 1913 г. вышла книга итальянского математика В.Вольтерры, которому удалось найти решения интегральных уравнений одного класса, охватывающего важные естественно-научные приложения. Несколько таких примеров как раз нашел и исследовал Костицын. Это уравнения, вытекавшие из его гипотезы возникновения ледниковых периодов, уравнения динамики газового состава атмосферы, а также математическое описание простейшей биологической системы хищник—жертва. Эти работы были опубликованы уже в эмиграции и принесли ему широкую известность. Но итоговое значение Костицына для мировой науки значительно выше его прижизненного авторитета. Научные направления, начатые им, при их дальнейшем развитии оказались в центре внимания наук о Земле и математической физики.

Газовый баланс атмосферы, впервые рассмотренный в его книге 1935 г. «Эволюция атмосферы, биосферы и климата» (издана в русском переводе в 1984 г. с предисловием академика Н.Н.Моисеева), сегодня выглядит несколько иначе. В поступлении углекислого газа в атмо-

сферу стала заметна антропогенная составляющая, а значение расчетов кругооборота углерода существенно возросло, поскольку в наступившем веке человечеству грозит невиданное потепление климата — следствие парникового эффекта от углекислоты. Мы гораздо больше знаем теперь о ледниковой истории Земли, а моделирование климата в будущее и прошлое производится с помощью мощных вычислительных средств для множества зон на земном шаре. Однако взаимосвязь основных процессов, их нелинейность описываются главным образом уравнениями Костицына. Простые, но содержательные уравнения такого типа и сегодня помогают отделить главное от второстепенного при анализе изменчивости климата.

Биофизика от анализа двухуровневых систем типа хищник—жертва перешла к изучению множественных связей и трофических цепей сложных систем. Одна из наиболее модных сегодня наук, экология, рассматривает всю совокупность взаимосвязей для биологических сообществ. И здесь основополагающие работы Вольтерры и Костицына не теряют своего значения и актуальности.

Очень интересно происходило дальнейшее развитие математической физики. Для ряда нелинейных дифференциальных уравнений, и притом таких, которые описывали реальные физические процессы (уравнение Шредингера квантовой механики, уравнение Кортевега де Фриза из гидродинамики), были найдены удивительные классы решений. В их числе, например, солитоны — волны, распространяющиеся в нелинейной среде без затухания и изменения формы. Кроме того, при анализе нелинейности возникли математические формулировки таких процессов, наблюдавшихся в природе, но не поддававшихся количественному анализу, как фрактальность, самоподобие и странный аттрактор. Эти новые понятия существенно расширили математическое описание тех автоколебательных процессов, которые исследовали Фредгольм, Вольтерра и Костицын. ■



# Новости науки

## Астрофизика

### Получены свидетельства существования горизонта событий

До сих пор нет прямых доказательств существования черных дыр. Да и вообще, каким должно быть такое свидетельство? Две группы американских астрономов считают, что им можно считать наблюдение горизонта событий — гипотетической границы черной дыры, которая внутрь пропускает все что угодно, а обратно не выпускает даже свет. Кроме черной дыры, ни один объект таким свойством не обладает и горизонта событий не имеет.

С помощью двух космических обсерваторий — Космического телескопа им.Хаббла и рентгеновского телескопа «Чандра» — ученым удалось наблюдать кажущееся исчезновение вещества, падающего на компактный компонент тесной двойной системы. Об этом они сообщили на конференции Американского астрономического общества в январе 2001 г.

М.Гарсиа (M.Garcia; Гарвардский астрофизический центр) и его коллеги изучили данные по наблюдениям 12 рентгеновских новых — двойных систем, в которых поток вещества с обычной звезды перетекает в аккреционный диск вокруг компактного объекта (черной дыры или нейтронной звезды), с тем чтобы в конце концов упасть на него. Время от времени в диске происходят взрывы, сопровождаемые вспышкой рентгеновского излучения, но в данном случае астрономы интересовались тем, как эти системы излучают в спокойном состоянии, т.е. в периоды между вспышками.

Шесть из 12 изученных компактных объектов оказались нейтронными звездами, а массы других шести — для нейтронных

звезд слишком велики (несколько масс Солнца), что и заставило ученых заподозрить в них черные дыры. Разделив системы с нейтронными звездами и системы с предполагаемыми черными дырами на пары с приблизительно одинаковым темпом аккреции, ученые сопоставили их рентгеновские светимости. Выяснилось, что системы с нейтронными звездами и в спокойном состоянии весьма ярки: кинетическая энергия падающего вещества при столкновении с поверхностью звезды превращается в тепловую и интенсивно высвечивается в рентгеновском диапазоне. Аналогичные же системы с черными дырами в спокойном состоянии почти не излучают (их светимости в 100 раз меньше, чем у систем с нейтронными звездами), словно падающий газ просто исчезает. Похоже, он проваливается под горизонт событий, унося с собой всю свою энергию.

А вот Дж.Долан (J.Dolan; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА) считает, что ему не просто удалось зафиксировать исчезновение энергии вблизи черной дыры, но действительно увидеть, как газовые сгустки исчезают из поля зрения, проваливаясь под невидимый горизонт. Наблюдая с помощью Космического телескопа им.Хаббла массивный компактный объект Лебедь XR-1, Долан дважды зафиксировал регулярные затухающие последовательности импульсов ультрафиолетового излучения общей продолжительностью около 0.2 с. Он считает, что эти импульсы исходят от сгустков горячего газа, которые отрываются от внутренней границы аккреционного диска и по спирали падают на черную дыру. Ультрафиолетовое свечение сгустков слабеет, поскольку по мере приближения к черной дыре их излучение сдвигается из-за гравитационного

красного смещения во все более длинноволновые области спектра. После 6—7 импульсов сгустки окончательно пропадают из вида. Конечно, было бы неосторожно делать выводы на основании всего двух наблюдений. Долан не отрицает, что две эти последовательности импульсов могут оказаться случайными, но подчеркивает, что их параметры в точности соответствуют теоретическим предсказаниям.

© Д.З.Вибе,  
кандидат  
физико-математических наук  
Москва

## Астрофизика

### Как стать звездой

Звезды образуются при сжатии (коллапсе) межзвездных газо-пылевых облаков. При этом температура в ядре облака повышается и, если оно достаточно массивно, достигает значений, необходимых для инициации термоядерных реакций. Чтобы постичь законы происхождения звезд и планетных систем, необходима детальная информация о физических условиях (и прежде всего о распределении вещества) в холодных темных межзвездных облаках. Однако облака эти очень непрозрачны, и потому их физическая структура до сих пор во многом остается загадкой, особенно по сравнению с хорошо изученными последующими фазами звездной эволюции. В частности, несмотря на то что ежегодно в нашей Галактике рождается несколько звезд, пока очень мало обнаружено облаков, находящихся в состоянии коллапса. Недаром некоторые ученые называют протозвездные облака недостающим звеном в современной картине звездообразования.

Ж.Альвесу (J.Alves; Европейская южная обсерватория) и его колле-

гам впервые удалось построить детальную карту распределения вещества в одном из самых близких темных облаков — Барнард 68, расположенном в 410 св. лет от Солнца. Его диаметр около 12 500 а.е., температура 16 К (–257°C), а давление на поверхности 2.5 пПа (в  $4 \cdot 10^{16}$  раз меньше земного атмосферного давления). Масса облака около двух масс Солнца.

В наблюдениях использовалась методика, предложенная несколько лет назад соавторами Альвеса — Ч. и Э.Лада (Charles and Elizabeth Lada; Гарвардский астрофизический центр, США). Методика основана на фотометрии фоновых звезд, которые находятся за облаком. Проходящий сквозь него свет поглощается и рассеивается внутри пыли. Эффективность поглощения и рассеяния (или обобщенно — экстинкции) падает с ростом длины волны, поэтому красный свет поглощается слабее и фоновые звезды кажутся краснее, чем в реальности. Экстинкция пропорциональна количеству поглощающего вещества на луче зрения и потому максимальна для звезд, расположенных за самыми плотными частями облака.

Зная спектральный состав нормальных звезд и измеряя величину их покраснения за различными участками облака, можно составить карту распределения в нем пыли. Чем гуще сеть фоновых звезд, тем подробнее карта и тем точнее информация о структуре облака. По своей сути методика проста, но, к сожалению, даже небольшие облака настолько непрозрачны, что достаточное количество звезд удается наблюдать через них только в большие и очень чувствительные телескопы.

Исследование облака Барнард 68 проводилось с помощью 3.58-метрового телескопа NTT (Телескоп новой технологии) и 8.2-метрового телескопа VLT/Анту Европейской южной обсерватории. Благодаря длительным экспозициям обнаружено около 3700 фоновых звезд. Точные определения их цвета и степени покраснения позволили рассчитать лучевую концентрацию пыли в облаке

по 1000 направлениям. По этим данным составлена самая детальная на сегодняшний день карта распределения пыли внутри темного облака и с беспрецедентной точностью (около 3%) установлено расстояние до него. Как говорит сам Альвес, «впервые внутреннее строение темного облака определено с той же точностью, что и внутреннее строение звезд». Облако оказалось сферически симметричным с растущей к центру средней плотностью. Профиль плотности хорошо согласуется с ее распределением в изолированной газовой сфере, находящейся в состоянии гидростатического равновесия, когда сила самогравитации уравновешивается внутренним тепловым давлением. Такое равновесие неустойчиво, поэтому облако Барнард 68, вероятно, находится на грани коллапса. Так или иначе, но результаты свидетельствуют о том, что маломассивные облака могут приходить в механически равновесное состояние и находиться в нем некоторое время до начала коллапса.

Авторы работы полагают, что облако Барнард 68 и соседние с ним темные облака Барнард 69, 70 и 72 представляют собой уцелевшие наиболее плотные области большого облака, которое в настоящее время полностью разрушено ультрафиолетовым излучением и звездным ветром близких массивных молодых звезд и ударными волнами от сверхновых. Вероятное их будущее — маленкая рассеянная ассоциация маломассивных звезд, подобных Солнцу.

Nature. 2001. V.409. P.159 (Великобритания).

## Планетология

### Осадочные породы на Марсе

Сотрудники американской компании «Malin Space Science Systems» М.Мэлин и К.Эджетт (M.Malin, K.Edgett) высказали мысль, что горные породы, слагающие слоистые обнажения на Марсе, скорее всего — осадочные и обязаны своим происхождением

существовавшим когда-то долговременным водоемам.

Отдельные выходы слоистых пород известны на Марсе еще с 70-х годов, однако только теперь Мэлин и Эджетт установили, что они встречаются в экваториальной части Красной планеты повсеместно, при этом явно тяготея к внутренним областям кратеров и другим углублениям. Судя по распространенности этих пород, озера и даже мелкие моря в самый ранний период марсианской истории (4.3—3.5 млрд лет назад) покрывали значительные участки поверхности планеты.

На некоторых обнажениях число слоев исчисляется сотнями. Границы между ними напоминают ступеньки с острыми краями, что говорит об их твердости. Толщина отдельных слоев примерно одинакова — порядка нескольких метров. Поверх этих наслоений иногда лежат более мощные пласты. Авторы считают, что осадки откладывались в водной среде, возможно в древних озерах, которые периодически возникали в кратерах и ущельях во влажный и теплый период марсианской климатической истории. Осадки попадали в низины не регулярно, а «импульсами», из-за чего на дне водоемов и образовались многочисленные тонкие слои. Массивные же пласты появлялись в водоемах тогда, когда осаждение вещества по каким-то причинам происходило длительное время.

Хотя «водное» происхождение слоистых образований авторы считают наиболее вероятным, это объяснение далеко не единственное. Даже на Земле, аналогия с которой служит одним из ключевых доводов американских исследователей, слоистость горных пород не обязательно связана с действием воды. На Марсе основной конкурент воды — ветер, который тоже способен переносить большие массы измельченного грунта и накапливать его в углублениях. Слоистость же может возникать в результате периодических изменений в марсианской атмосфере (например, при колебаниях атмосферного давления), что влияет на

эффективность переноса пыли. В любом случае осадочные породы Марса говорят об очень активной ранней истории планеты: глобальные условия на ее поверхности менялись часто, быстро и с относительно регулярными интервалами.

Мэлин и Эджетт аргументом против «ветровой» гипотезы считают чрезвычайную однородность слоистых отложений. Но с другой стороны, в окрестностях углублений, содержащих осадочные породы, не удалось обнаружить следов течения воды, хотя в целом образования, напоминающие высохшие русла, на Марсе весьма распространены.

Выбрать один из названных механизмов можно было бы, проанализировав структуру горных пород: осадки на дне водоемов должны быть крупнозернистыми, поскольку вода в состоянии переносит довольно большие частицы, а ветер — лишь мельчайшие пылинки.

Ученые надеются получить ответ на вопрос о происхождении этих слоистых отложений в 2003 г., когда на марсианской равнине Исида, которая, как полагают, тоже сложена осадочными породами, произведет посадку спускаемый аппарат «Бигль-2» Европейского космического агентства. В состав научного оборудования аппарата входит небольшой микроскоп, с помощью которого можно определять размеры зерен, из которых сложены осадочные породы.

Science. 2000. V.290. P.1927–1937 (США).

## Физика

### Новый мощный синхротрон во Франции

В сентябре 2000 г. французское правительство после длительных колебаний приняло окончательное решение о строительстве мощного экспериментального источника рентгеновского излучения. Этому синхротрону третьего поколения дано наименование «Soleil» («Солнце»). Местом для его сооружения были избраны окрестности Сакле, что в 20 км к юго-

западу от Парижа; здесь уже существует несколько высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов (этим, в частности, Сакле получил предпочтение перед ранее выдвигавшим свою кандидатуру Лиллем). Строительство установки началось в 2000 г., а в 2005 г. синхротрон должен вступить в строй.

На строительство «Soleil» и первые восемь лет его эксплуатации предполагается ассигновать сумму, эквивалентную 200 млн амер. долл. Однако из фондов центрального правительства Франции на это пойдет не более 20%, 75% должны быть выделены из местных бюджетов. Остальную сумму, видимо, возьмут на себя научные организации Великобритании, Испании, Бельгии и Португалии. Со своей стороны Франция ранее уже обязалась поддерживать в финансовом отношении создание синхротрона «Diamond», который будет построен в Великобритании.

Science. 2000. V.289. №5486. P.1859 (США).

## Химия. Технологии

### Новый конкурент алмаза

Существование нитрида углерода, который должен быть тверже алмаза, ученые предсказали давно. Исследователи многих стран пытались синтезировать это перспективное соединение, но тщетно. В лучшем случае получалось аморфное вещество или тончайшие кристаллические пленки. И вот недавно московские химики под руководством Н.Б.Зорова нашли способ синтезировать объемные образцы кристаллического  $C_3N_4$ .

На первом этапе получают тонкие кристаллические пленки, для чего в разреженной атмосфере азота (при давлении ~10 мкбар) зажигают тлеющий разряд между двумя графитовыми электродами. В холодной плазме разряда образуются возбужденные атомы и ионы азота. Направляя мощный луч лазера на поверх-

ность катода, добиваются испарения с него атомов углерода. Последние взаимодействуют с компонентами плазмы, и после химической реакции нитрид углерода оседает в виде тонкой пленки на кремневую пластинку. Теперь, на втором этапе, монокристаллическую пленку используют как заправку для роста объемных кристаллов. Между двумя пленками помещают аморфный нитрид углерода и выдерживают при давлении 70 кбар и температуре 500°C. В таких условиях аморфный материал кристаллизуется, и через два часа получается шайба из монокристаллического  $C_3N_4$  диаметром 5 мм и толщиной 3 мм.

По твердости новый материал действительно не уступает алмазу. Его можно использовать не только в обрабатывающей промышленности, но, например, для покрытия компьютерных жестких дисков и головок видеомэгнитофонов.

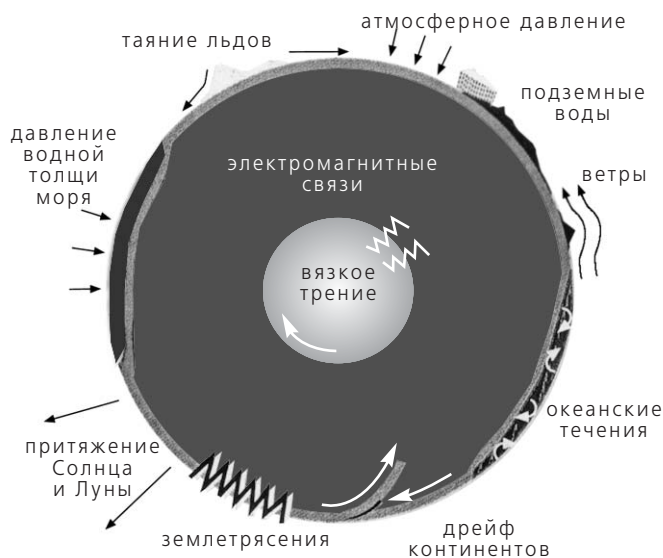
Химия в России. 2000. № 8. С.23 (Россия).

## Геофизика

### Атмосфера покачивает Землю

Еще в XVIII в. Леонард Эйлер высказал предположение, согласно которому ось вращения Земли должна колебаться с периодичностью около одного года. Но лишь в 1891 г. это явление обнаружил американский бизнесмен и астроном-любитель С.К.Чандлер, детально обчислив результаты собственных наблюдений звездного неба. Он установил, что земная ось, точнее, ее оконечность вблизи полюса, очерчивает вокруг этой точки приближенно окружность диаметром около 6 м. Если бы такое не очень упорядоченное движение было следствием одностороннего толчка, перпендикулярного оси нашего гигантского «волчка», то, согласно расчетам, оно бы прекратилось уже через несколько десятилетий. Однако это не так, эффект сохраняется длительное время, а значит, существует какой-то постоянно действующий источник возмущений.





Силы, действующие на вращение Земли. Чандлеровские колебания земной оси в основном определяются атмосферными возмущениями.

Эту роль приписывали многим явлениям, в частности мощным землетрясениям. Но они происходят редко и отнюдь не циклично. Ветровое давление на горные хребты слишком слабое, чтобы раскачать махину-планету. Отводили эту роль и колебаниям Эль-Ниньо в Мировом океане<sup>1</sup>.

Ныне геофизик Р.Гросс (R.Gross; Лаборатория реактивного движения в Пасадене, США) сопоставил колебания земной оси, наблюдавшиеся в период между 1985 и 1996 гг., и результаты математического моделирования вращения планеты с учетом ее воздушной и водной оболочек.

Сами по себе ветры и морские течения оказались для этого слишком слабыми. Зато перепады давления, с которым воды океана «напирают» в различное время на разные участки морского дна, достаточно велики. В свою очередь масса воды, перемещающаяся из одной акватории в другую, зависит от направления и силы ветров. Модельные вычисления показали, что существующие колебания на две трети определяются динамикой водных масс и на одну треть — воз-

душных, причем в обоих случаях первопричиной служит неспокойная атмосфера.

Science. 2000. V.289. №5480. P.710 (США).

### Эволюционная биология

#### Половой диморфизм колибри

Половой диморфизм характерен для многих птиц. Известно, что окраска самца служит для привлечения самки (нетрудно отличить по облику ярко окрашенного селезня от его серенькой подружки), однако еще Ч.Дарвин предположил, что возникновение диморфизма может быть связано и с другими причинами — например с пищевой адаптацией. Этим он объяснял, в частности, различную форму клюва у самцов и самок колибри, обитающих в тропиках Западного полушария. Однако до последнего времени доказательств этому не было.

Американский биолог-эволюционист и орнитолог Э.Тимилс (E.Temeles; Амхерстский колледж, штат Массачусетс) получил некоторые аргументы в пользу этой теории. Руководимая им группа наблюдала за пурпурными колибри (*Eulampis jugularis*) в трех заповедниках на о.Сент-Люсия (Кариб-

ское море). Цвет оперения этих птичек у обоих полов одинаковый; масса самцов в среднем на четверть больше, зато у самок клювы на треть длиннее и сильнее изогнуты. Выяснилось, что самцы питаются нектаром исключительно геликонии карибской (*Heliconia caribaea*), а самочки (11 особей из 18) — главным образом геликонии Бихая (*H.bibai*). Хотя содержание сахаристых веществ в них почти одинаковое, цветок геликонии Бихая намного длиннее и изогнутее, чем цветок карибской. Сразу видно, что только клюв самки позволяет добраться до глубоко спрятанного нектара этого растения.

Вывод ученых: колибри приспособились к таким цветкам в процессе длительной эволюции. Видимо, тысячи лет назад, когда они впервые заселили о.Сент-Люсия, более крупные и сильные самцы предпочли питаться нектаром обильно цветущей геликонии карибской, а самкам пришлось довольствоваться геликонией Бихая. Со временем форма клюва у птиц разных полов стала соответствовать строению цветка. Однако точный механизм адаптации, а также причины его запуска пока остаются неясными. Не исключено, что здесь мог сыграть роль и половой отбор: ведь те цветки, от которых самцы отгоняли самок, одновременно служат и для их привлечения в процессе ухаживания.

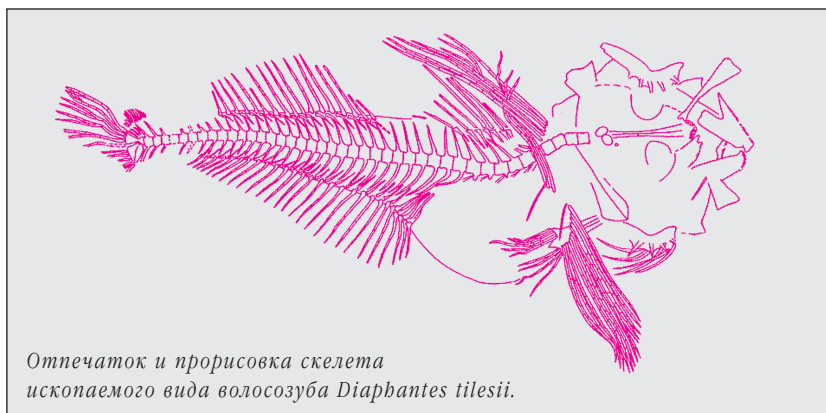
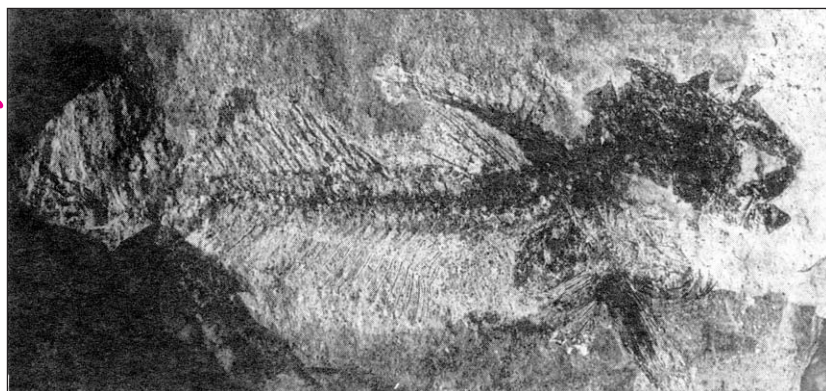
Science. 2000. V.289. №5478. P.369, 441 (США).

### Зоология

#### Вымерший вид рыб помог систематикам

При изучении в 1996 и 1998 гг. верхнемиоценовых отложений агневской свиты о.Сахалина были обнаружены два отпечатка ископаемых рыб. Установлено, что отпечатки принадлежат предкам современных волосозубых рыб (*Trichodontidae*) — эндемиков северных вод Тихого океана. Два ныне существующих вида волосозубов — северного (*T. tribodon*)

<sup>1</sup> См., напр.: Сидоренко Н.С. Межгодовые колебания системы атмосфера—океан—Земля // Природа. 1999. №7. С.26—34.



Отпечаток и прорисовка скелета ископаемого вида волосозуба *Diaphantes tilesii*.

и японского (*Arctoscopus japonicus*) — традиционно рассматривались в составе подотряда трахиновидных, или драконовидных (*Trachinoidei*), отряда окунеобразных (*Perciformes*). Однако до сих пор положение семейства волосозубых рыб в системе отряда окунеобразных не определено, несмотря на многочисленные исследования, посвященные этой проблеме. Связано это, видимо, с тем, что до настоящего времени ихтиологи ограничивались изучением отдельных морфологических признаков и не уделяли достаточного внимания подробному сравнительному анализу строения скелета. Известно, что остеологически был исследован лишь северный волосозуб, но и в этих работах упомянуты только отдельные его особенности.

М.В.Назаркин (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан) и О.С.Воскобойникова (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург), изучив отпечатки древних представителей семейства, не только описали новый ископаемый вид, но и уточни-

ли систематическое положение семейства волосозубых в отряде окунеобразных рыб.

Строение костей на отпечатках и у ныне живущих видов показывает, что ископаемый вид, названный *Diaphantes tilesii* (от греч. διάφανο — проявляться и τέσ — действующее начало), имел ряд примитивных особенностей (чешуйный покров в виде мелких редких шпиков, небольшое число позвонков туловищного отдела и др.), не отмеченных у современных волосозубов. На основании этого набора предковых признаков *Diaphantes* рассматривается в качестве наиболее примитивного рода семейства волосозубых рыб, к которому ближе всех по строению японский волосозуб. Самым продвинутым представителем семейства оказался северный волосозуб, у которого, в частности, сильнее выражена бахрома на губах и жаберной перепонке, существенно скульптурирована верхняя поверхность черепа.

В результате сравнительного анализа внешних морфологических и остеологических признаков всех представителей семейства и других

подотрядов окунеобразных рыб авторы предлагают выделить волосозубых рыб в самостоятельный подотряд *Trichodontoidei* с единственным одноименным семейством и тремя родами (*Trichodon*, *Arctoscopus* и *Diaphantes*), в каждом из которых по одному виду.

Вопросы ихтиологии. 2000. Т.40. №6. С.725–742 (Россия).

## Радиобиология

### Используемые тесты неэффективны

Сотрудники Института общей генетики им.Н.И.Вавилова с 1986 по 1992 г. изучали генетические нарушения у мышевидных грызунов, обитающих на территории (юг Брянской обл.), загрязненной радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. Всего было обследовано более 400 грызунов, у которых определяли количество микроядер в эритроцитах, частоту аномальных головок спермиев и эмбриональную смертность в потомстве отловленных самцов.

Полученные за несколько лет результаты в целом показали неэффективность используемых тестов: частота генетических нарушений была относительно низкой, и лишь на более загрязненных участках она иногда несколько увеличивалась.

При многолетнем мониторинге генетических последствий, вызванных техногенными авариями, необходимо с целью определения радиационного риска (в частности, для человека) учитывать генетические повреждения, индуцированные в половых клетках, поскольку именно они передаются по наследству.

Радиационная биология. Радиоэкология. 2000. Т.40. №5. С.601–606 (Россия).

## Палеобиология

### «Гастрономическая верность» привела к открытию

В настоящее время известно около 40 тыс. видов жуков, личинки которых питаются листья-

ми растений (они так и называются: листоеды — *Chrysomelidae*); причем рацион некоторых из них ограничен определенными видами растений. Эколог Д.Стронг (D.Strong) еще в молодости восхищался способностью личинок современных листоедов превращать листья имбиря в изящное кружево. Он потратил десятилетия, чтобы описать характерную специализацию подобных насекомых, сформировавшуюся у них в ходе эволюции в течение сотен тысяч и миллионов лет. В конце концов он научился опознавать вид насекомого по узору, оставленному им в прогрызенном листе.

Это позволило американским ученым — палеоботанику П.Уилфу (P.Wilf) и палеобиологу К.Лабандейре (K.Labandeira) — открыть новый вид насекомых, живших в позднюю меловую эпоху (еще во времена последних динозавров), по 11 отпечаткам листьев имбиря с характерным ажурным рисунком. Древнейший «любитель пряностей» был назван в честь Стронга — *Cephaloleichnites strongi*.

Важность открытия состоит не только в том, что обнаружен новый вид древних листоедов. Его следы оказались на 20 млн лет старше всех имеющихся на сегодня свидетельств жизни насекомых. Это подкрепляет гипотезу американского энтомолога-эволюциониста Б.Фаррелла (B.Farrell) о том, что большинство видов растительноядных насекомых развивались параллельно с цветковыми растениями и потому отличались большим разнообразием уже в эпоху царствования динозавров.

До открытия листоеда Стронга в руках ученых был всего лишь один отпечаток насекомого того времени. Теперь палеоэнтомологи и эволюционисты смогут искать следы ископаемых насекомых методом Стронга — изучая в окаменелых остатках характер повреждения листьев растений, поедавшихся ими.

Science. 2000. V.289. №5477. P.229, 291 (США).

## Геология. Экология

### Как сократить содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере?

Несмотря на принимаемые меры, поступление в земную атмосферу CO<sub>2</sub> все возрастает. Ныне разработана технология изъятия этого парникового газа и его изолирования в тех или иных резервуарах; например, во многих местах добычи ископаемого топлива после его исчерпания образовались крупные пустоты, часть которых ныне используется в качестве хранилищ метана. Достаточно эффективно также закачивание CO<sub>2</sub> в нефтеносные пласты.

Обычно при эксплуатации нефтяного месторождения из него удается добыть не более 40% жидкого топлива. Чтобы увеличить это количество, в соседнюю скважину нередко закачивают воду, повышая давление в пласте и заставляя оставшуюся нефть подниматься на поверхность. Недавно установлено, что неплохо может справляться с этой задачей и CO<sub>2</sub>. Закачивая под давлением в порожние скважины жидкий CO<sub>2</sub>, растворяют его в оставшейся нефти. Затем такая жидкая смесь сама перемещается в область более низких давлений, и на месторождении удается получить добавочные 10—15% нефти. Часть CO<sub>2</sub> при этом остается в нефтеносной формации. Таким образом, появляется возможность выгодно использовать CO<sub>2</sub> в добыче нефти, одновременно избавляя от него атмосферу. В 1998 г. на территории США подобным методом было добыто 6% всей нефти. С конца 2000 г. такая методика начала использоваться на месторождении Уэймут в канадской провинции Саскачеван: к месту добычи подведен 300-километровый газопровод от г.Бейла (Северная Дакота, США), по которому прокачивается от местной газовой компании до 5 тыс. т CO<sub>2</sub> в сутки. Предполагается за ряд лет добыть дополнительно 20 млн т нефти, одновременно изолировав около 20 млн т CO<sub>2</sub>.

Разумеется, объем изымаемого из воздушного пространства CO<sub>2</sub> во всем мире пока еще очень незначителен по сравнению с его выбросом. По оценке специальной комиссии, созданной Международным агентством энергетики, в нефте- и газоносных пластах могло бы разместиться такое количество CO<sub>2</sub>, которое за 125 лет эксплуатации выбрасывают в атмосферу все электростанции, работающие на сжиженном ископаемом топливе. Помимо нефтяных и газовых месторождений, CO<sub>2</sub> может быть «заперт» и в глубоких угольных шахтах, где добыча уже прекращена. Как известно, главным источником CO<sub>2</sub> служат электростанции. Уголь играет здесь основную роль: он пока дешевле иных топлив, но он же и крупнейший поставщик CO<sub>2</sub>. Выделяющийся газ перед закачкой в недра следует подвергать очистке и сжатию. Сейчас стоимость такой процедуры составляет примерно 53 долл./т или даже выше, что и препятствует распространению метода. Поэтому рекомендуется придать приоритетный характер научно-техническим работам, которые позволят упростить и удешевить этот процесс, а также усилить их финансирование.

Science. 2000. V.289. №5483. P.1293 (США).

## Геология. Подводная археология

### Следы первоамериканца под водой

Согласно наиболее распространенной гипотезе заселения Америки, люди пришли сюда из Азии в период последнего оледенения, когда Чукотку с Аляской соединял естественный «мост»<sup>1</sup>. Полагают, что человек мог тогда передвигаться лишь по освободившейся от ледников узкой полосе тихоокеанского побережья, однако известные археологам стоянки древних людей относятся в основном

<sup>1</sup> См. также: Несис КН. По тундре из Азии в Америку // Природа. 1997. №7. С.121; Он же. Молекулярная генетика о времени заселения Америки // Там же. 1998. №1. С.103.



к континентальным районам Канады и США. Поэтому большой интерес вызвала недавняя находка канадских геологов Д.У.Федж и Х.Йозенханса (D.W.Fedje, H.Josenhans), изучавших топографию и геоморфологию морского дна в проливах между западным побережьем Канады и о-вами Королевы Шарлотты.

Используя новейшую технику подводных исследований (сонары с высоким разрешением и погружаемый аппарат с дистанционным управлением), они построили подробную карту дна на глубинах до 145 м с точностью 10 см по вертикали и 1 м по горизонтали и подняли многочисленные образцы донного грунта. Исследователи получили изображение ландшафта, погрузившегося под воду около 12,5 тыс. лет назад, т.е. в эпоху, наступившую непосредственно за оледенением. Это позволило установить расположение и очертания древнего берега.

Неожиданной удачей стал подъем при драгировании дна примитивного отщепы длиной 10 и толщиной немногим менее 1 см, изготовленного из черного базальта. Следы ударной обработки, рабочий край, заостренный под углом 12–16°, и другие отличительные признаки указывают на то, что это — орудие труда, характерное для раннеголоценового времени. Находка сделана у побережья о.Морсби, на котором уже обнаруживали следы обитания древних людей, датированные возрастом 9400 лет. Найденное орудие лежало на континентальном шельфе, около давно погружившейся под воду дельты древней реки, ныне находящейся на глубине 53 м. Геология местности, история ее взаимодействия с менявшимся уровнем моря, в частности образование мощного слоя осадочных пород, который сформировался более 12 500 лет назад в дельте реки, позволяют отнести время изготовления орудия примерно к 10 тыс. лет назад. Море в то время далеко отступило, оставив за собой мелководные заливы и террасу над ними — по-видимому, на ней-то и останавливал-

ся владелец орудия. Тогда эта местность была заросшей мелким кустарником; много позже, но до очередного затопления морем, здесь появились сосны и ели, возраст которых, по определению палинологов, около 10 500 лет.

Таким образом, археологи впервые получили материальное свидетельство того, что 12,2–10 тыс. лет назад люди населяли узкую полосу североамериканского континентального шельфа, обнажившегося в то время вследствие падения уровня Мирового океана. Местность, лежащая ныне на глубине до 145 м, доступна для археологических исследований, которые, можно надеяться, принесут новые материалы о ходе заселения Америки.

Geology. 2000. V.28. №2. P.99 (США).

## Палеонтология

### Окаменевшее сердце динозавра

Профессиональный американский препаратер ископаемых животных М.Хаммер (M.Hammer) нашел на территории штата Южная Дакота, в отложениях формации Хеллс-Крик, скелет небольшого растительноядного ящера тесцелозавра (*Thescelosaurus*), населявшего эту область около 66 млн лет назад. В верхней части грудной полости животного он обнаружил некий минерализованный сгусток ткани, окрашенный в ржавый цвет. Такие образования палеонтологи находили и раньше, но обычно их выдалбливали из скелетов.

Сделав компьютерную томографию находки, врач Э.Кузмиц (A.Kuzmitz) показал ее коллегам-кардиологам, и все они единогласно признали в ней окаменевшее сердце. Врачи даже различили два крупных овальных желудочка, разделенных между собой характерной перегородкой.

Это — первый случай находки главного органа кровообращения ископаемого ящера. Выяснилось, что анатомия его сердца более сходна со свойственной птицам и млекопитающим, чем крокоди-

лам и другим пресмыкающимся. Такое заключение очень важно не только как еще одно доказательство родственных связей птиц и динозавров, но и потому, что «птичье сердце» указывает на теплокровность динозавров, вопреки долгое время господствовавшему мнению, будто они были холоднокровными. Д.Рассел (D.Russel; Музей естественной истории штата Северная Каролина), ранее отрицавший у динозавров высокий уровень обмена веществ по типу птиц, теперь считает его вполне возможным.

Трехмерная реконструкция, проведенная по двухмерным срезам образца, показала строение желудочков и единственного крупного кровеносного сосуда — системной аорты, ведущей от сердца к задней части грудной клетки. Рассмотреть изображение других крупных кровеносных сосудов и предсердий не удалось, что оставляет скептикам возможность иной интерпретации анатомии и физиологии динозавра. По этому поводу среди палеонтологов разгорелась чрезвычайно широкая дискуссия. Кроме того, начался активный поиск сохранившихся внутренних органов ископаемых ящеров.

Science. 2000. V.288. №5465. P.416 (США).

## Археология

### Где была «колыбель пахаря»?

Вопрос о том, когда и где человек впервые стал обрабатывать землю, давно обсуждается специалистами. Большинство из них до недавнего времени полагали, что это произошло около 10 тыс. лет назад, в эпоху неолита, на территории современных Израиля и Иордании.

Израильские ученые — агроном С.Лев-Ядун (S.Lev-Jadun), археолог А.Гофер (A.Gofer) и ботаник Ш.Аббо (S.Abbo), обобщив археологические, ботанические и генетические свидетельства, пришли к выводу, что родиной земледелия следует считать небольшую область в верхнем тече-

нии Тигра и Евфрата, на стыке нынешних Юго-Восточной Турции и Северной Сирии.

Дело в том, что дикие предки всех семи «опорных» для людей неолита полезных растений — пшеницы-однозернянки, эммера (двухзернянки), ячменя, чечевицы, гороха, вики горькой, мелкого «турецкого» горошка, а также льна встречаются вместе только в этом районе. Маловероятно, чтобы столь редкие виды были 10 тыс. лет назад порознь окультурены где-либо вне узкого пространства их совместного произрастания. Более того, предполагаемая местность окультуривания пшеницы-однозернянки лежит в середине весьма ограниченного района распространения «турецкого» горошка.

Еще один аргумент в пользу гипотезы израильских ученых — ограниченное генетическое разнообразие современных растений по сравнению с их дикими предками.

Остатки названных культур (под сомнением — лишь горох) археологи находили при раскопках в самом центре того района, который израильские ученые теперь считают родиной земледелия. Речь идет о древних стоянках на берегу Евфрата — Телль-Абу-Хурейра, Джерф-эль-Ахмара и Джада; в Северо-Западном Ираке — Телль-Мурейбета; у берегов Тигра — Чайёню. Время возникновения неолитических поселений — 9000—7500 лет до н.э., причем Чайёню, по-видимому, самое молодое из них. Вне этого небольшого района свидетельства древнейшего земледелия появляются на Ближнем Востоке позже, в 7300—7000 гг. до н.э. Правда, при раскопках неолитического Иерихона в слоях, относящихся к периоду, когда человек еще не овладел гончарным искусством, семена растений встречаются, но они до сих пор не имеют точной датировки. По мнению авторов новой гипотезы, они могут относиться лишь к 7-му тысячелетию до н.э.

Несколько лет назад археологи, вскрыв почву у пос.Телль-Асвад вблизи Дамаска (Сирия), обнаружили кремневые вкладыши от сер-

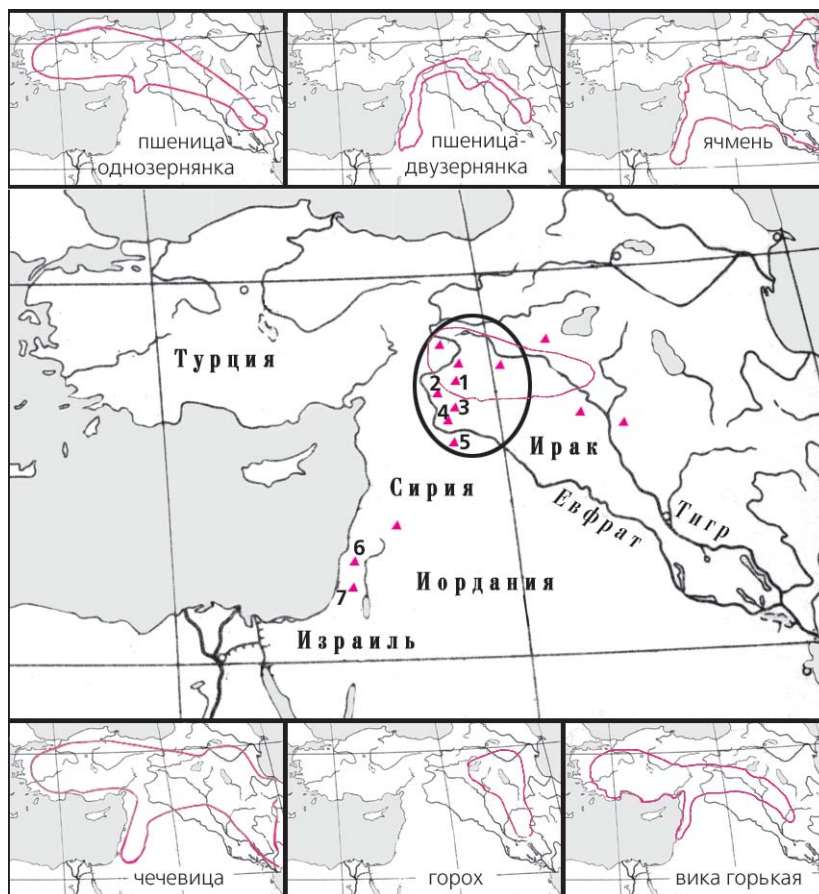


Схема распространения на Ближнем Востоке основных сельскохозяйственных культур. На центральной карте овал оконтуривает район их совместного произрастания; красным цветом обозначен район произрастания мелкого «турецкого» горошка в верховьях Тигра и Евфрата. На врезках показана родина происхождения окультуренных растений. Треугольниками обозначены древние стоянки, в том числе: 1 — Чайёню, 2 — Джада, 3 — Джерф-эль-Ахмара, 4 — Телль-Мурейбет, 5 — Телль-Абу-Хурейра, 6 — Йифтахэль, 7 — Иерихон.

пов. Возможно, здесь в 7800—7600 г. до н.э. люди скашивали дикорастущую пшеницу-однозернянку. Часть ее зерен они могли использовать и для окультуривания растения. О том же могут свидетельствовать и остатки дикой чечевицы, которые были найдены в местности Йифтахэль на территории Израиля и датированы примерно 6800 г. до н.э.

Распространение окультуренных растений неплохо совпадает с продвижением других технических новаций эпохи неолита: уже к 8000 г. до н.э. изготавливать совершенные орудия и оружие из кремня и другого камня умели не только на территории среднего

течения Евфрата, но и в Южном Леванте, и на Верхнем Ниле, где в древнеегипетском поселении Хелуан недавно были найдены хорошо сохранившиеся каменные наконечники стрел, лезвия серпов и ручные мельницы для размалывания зерна.

Палеоклиматологи и гляциологи считают, что немалую роль здесь сыграл эпизод резкого похолодания и иссушения среды в 9—8-м тысячелетиях до н.э. (так называемый молодой дриас), повлекший за собой конец кочевого образа жизни и переход человека к оседлому существованию.

Science. 2000. V.288. №5471. P.1602 (США).

# Рецензии Геологи с Пыжевского, 7

В.Н.Шолпо,

доктор геолого-минералогических наук  
Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта  
Москва

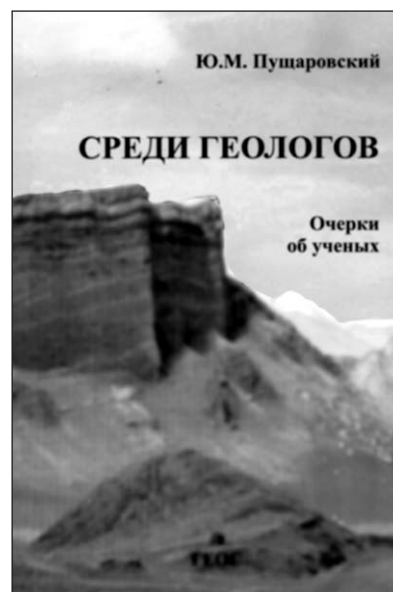
Название книги воспоминаний Ю.М.Пуцаровского очень точно и емко выражает ее суть. Мемуары Юрия Михайловича представлены как серия очерков-портретов, отражающих главным образом научную деятельность и судьбу каждого персонажа. Но речь идет не только о науке, хотя она занимает, разумеется, главное место в повествовании. Форма свободного рассказа позволяет автору показать черты характера героев очерков, подчеркнуть их человеческие особенности, увлечения, взаимоотношения с окружающими. С большинством действующих лиц (они в самом деле предстают на страницах как живые, деятельные люди) автор был хорошо знаком, связан общей работой, а с некоторыми и многолетней дружбой.

Главное место в книге занимают представители тектонической школы Геологического института РАН (ГИН), начиная с ее основоположников — академиков А.Д.Архангельского и Н.С.Шатского и целой плеяды их последователей, учеников, чьи имена прочно вошли в фонд отечественной геологии. Но круг лиц не ограничи-

вается учеными ГИНа, очерки дополнены анализом творческого наследия таких крупнейших российских ученых, как А.П.Карпинский и В.И.Вернадский, чьи работы, касающиеся тектоники, оказали заметное влияние на развитие идей школы ГИНа. М.В.Муратов и А.А.Богданов также близко примыкают к тектонической школе института, а первый из них был долгое время сотрудником ГИНа. И как постоянный, последовательный оппонент идей, развиваемых в Геологическом институте, несомненно оказывавший на них влияние, особое место занимает в книге В.В.Белоусов. В очерке о нем нет анализа научного творчества и научной судьбы, но выразительно, хоть и лаконично, нарисован его портрет последнего времени.

Книгу завершает автобиографический очерк, где автор кратко вспоминает о детстве и юности, непростом пути к получению образования, что характерно для того поколения выходцев из интеллигенции. Более подробно рассказано о жизни в науке, работе в разных регионах страны, постепенном накоплении опыта, об эволюции идей.

Тектоническая школа ГИНа — в истории наук о Земле феномен значительный и,



**Ю.М.Пуцаровский. Среди геологов.**

М.: ГЕОС, 1999. 170 с.



может быть, даже в какой-то мере уникальный. Нетрудно, разумеется, привести примеры других научных школ. Самый яркий — петрологическая школа Коржинского, представители которой и сейчас, много лет спустя после ухода лидера, называют себя «коржинистами». Это обычно — называть научные школы по имени основоположника и лидера. Сообщество тектонистов ГИНа никогда не называли школой Архангельского, Шатского или Пейве, это была именно школа ГИНа. Очевидно, при естественной смене лидеров, каждый из которых был яркой, самобытной фигурой, сохранялась какая-то основа, стержень, «унаследованность» идей.

Ведущая роль школы ГИНа в разработке важнейших фундаментальных направлений геотектоники несомненна. Это — исследование строения и развития платформенных областей с использованием методов сравнительного тектонического анализа, проблем разломной тектоники, и в первую очередь значения глубинных разломов в развитии земной коры, учение о формациях, концепция тектонической расслоенности литосферы и, наконец, разработка методов тектонического картирования и составление множества тектонических карт, разных по масштабу и охвату территорий.

В основе всех обобщений и последующих умозаключений и лидеров тектонической школы ГИНа, и их последователей лежит непреложное правило: все должно опираться на добротный, надежный региональный фактический материал. Это очень четко прослежено автором книги от одного очерка к другому. Многие представители школы были не только тектонистами, но и профессиональными стратиграфами, палеонтологами, литологами; хорошей

школой для тектонистов служила работа в нефтяной геологии.

Но поскольку Ю.М.Пуцаровский не только подчеркивает профессиональные качества ученых, но и дает их психологические характеристики, читателя поражает, какие разные, казалось бы несовместимые, люди объединились в сообществе тектонической школы ГИНа. Артистичный, склонный к художественному восприятию мира Н.А.Штрейс, рафинированный интеллигент Н.П.Херасков, сдержанный до замкнутости А.В.Пейве, резкий до эпатажа Ю.А.Косыгин. Объединяли их увлеченность главным делом жизни — наукой и верность общей идее. Это сплачивало их в дружный коллектив, который порой даже называли «корпорацией Пыжевского переулк» и который единодушно противостоял представителям других тектонических школ и направлений.

Автор отмечает, что в 50-х годах острые дискуссии приводили Шатского и Белоусова даже к личной неприязни. Но вот что интересно, сейчас, по прошествии времени, хорошо видно, что при всей разнице взглядов на причины тектогенеза, на движущие силы эволюции тектоносферы, методическая и методологическая основа в обоих направлениях была одна — сначала твердо установленные факты, надежные эмпирические обобщения, а затем уже концепции, гипотезы и модели процессов. Весь вопрос в том, какие факты считать ключевыми, какой вес придавать тем или иным группам фактов. В этом суть расхождений, в этом причина разных выводов и разных взглядов на тектогенез. Но ни там, ни тут не ставилась во главу угла предвзятая, заранее выбранная теоретическая схема, что, к сожалению, часто можно видеть в современных работах.

Геологи и тектонисты ГИНа с самого начала занимают ключевые позиции в образованном в 1964 г. Тектоническом комитете (с 1973-го — Межведомственный тектонический комитет) и в созданном тогда же журнале «Геотектоника». Но по хорошей традиции, заложенной Муратовым, первым председателем Комитета и первым редактором журнала, в них сохраняется подлинная «межведомственность» и терпимость к разным взглядам. Трибуна на совещаниях и страницы журнала открыты представителям всех направлений, разных тектонических школ.

Очерки, посвященные А.П.Карпинскому и В.И.Вернадскому, органично дополняют рассказ о возникновении и развитии тектонической школы ГИНа. Прежде всего отсюда вытекает идея прочной связи работ геологов ГИНа с научным наследием великих предшественников. Проблемы, связанные со структурной организацией Земли, феноменом асимметрии и дисимметрии планеты были поставлены еще ими, но до сих пор не нашли объяснения в геотектонических концепциях. Только сейчас, по-видимому, они становятся актуальными для глобальной геотектоники. Во всяком случае именно на эти места в трудах предшественников и на соображения по этому поводу автор обращает внимание в первую очередь.

Геология, как известно, наряду с другими отраслями науки, переживала в конце 40 — начале 50-х годов нелегкие времена. Не в такой мере, как генетика, но тоже подверглась идеологическому давлению. Нашло это отражение и в книге Пуцаровского: литологическая дискуссия Н.М.Страхова и Л.В.Пустовалова. И надо сказать, что ГИН, решительно поддерживавший Страхова, с честью вышел из этой непростой ситуации. Но автор не ак-

центрирует внимание на трудных и мрачных сторонах научной жизни.

Вообще вся книга Юрия Михайловича написана с позиций добра, внимательного отношения к людям, героям его очерков. Автор с благодарностью говорит о тех, с кем ему пришлось вместе работать многие годы, о тех, кто оставил заметный след в памяти. С особой теплотой он вспоминает дом гидробиологов Липиных, который был в его студенческие годы центром большой молодежной компании и оказал несомненное влияние на формирование взглядов и вкусов автора. Видно, что главная задача, которую

ставил перед собой Пущаровский, — сохранить и донести до читателя лучшее, что было в жизни научного сообщества во второй половине ушедшего века. Интеллектуальный потенциал, романтическую атмосферу научных поисков, увлеченность своим трудом, радость коллективной работы, духовное богатство. Надо сказать, что ему это в полной мере удалось.

Наукам о Земле в последнее время повезло с мемуарной литературой. За три последних года опубликованы книги: «Из воспоминаний геолога» В.Е.Хаина (М., 1997), «Владимир Михайлович Крейтер» (М., 1997), «Григорий Алексан-

дрович Гамбурцев. Воспоминания, очерки, статьи» (М., 1998), «Классик петрологии XX века. 100-летие Д.С.Коржинского. Воспоминания» (М., 1999), «Владимир Владимирович Белоусов» (М., 1999), «Николай Михайлович Страхов. Ученый и человек» (М., 2000).

Очевидно, это отвечает естественной потребности сохранить и передать грядущим поколениям все то лучшее, что было пережито и накоплено в нашу сложную переломную эпоху. Книга Юрия Михайловича занимает особое место в этом ряду и заполняет очень важные страницы в истории развития нашей отечественной науки о Земле. ■

### Естествознание

СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ: ЭНЦИКЛОПЕДИЯ. В 10 т. / Гл. ред. В.Н.Сойфер. М.: МАГИСТР-ПРЕСС, 2000.

Появилось новое уникальное энциклопедическое издание, в котором сделана попытка дать целостный взгляд на весь корпус естественнонаучного знания. Оно подготовлено к печати Министерством образования РФ и Международной Соросовской программой образования в области точных наук.

Программа проводила конкурсы по присуждению ученым индивидуальных грантов, не преследуя никаких конъюнктурных, коммерческих или политических целей. Утверждали статьи к публикации экспертные советы, куда вошли российские Соросовские профессора.

Энциклопедия знакомит читателей с последними достижениями в области естественных наук. Прообразом издания послужил энциклопедический словарь «Гранат», задуманный еще в начале века русскими учеными К.А.Тимирязевым, М.М.Ковалевским, Н.А.Умновым.

Материалы объединены в тома по тематике: «Физическая хи-

мия», «Общая биология», «Математика. Механика», «Физика элементарных частиц. Астрофизика», «Физика конденсированных сред», «Общая химия», «Физика волновых процессов», «Молекулярные основы биологических процессов», «Науки о Земле», «Современные технологии».

Первые три тома были напечатаны на средства Московского комитета образования тиражом 2500 экз. Теперь правительство России финансирует издание остальных.

### Океанология

**А.Л.Верещака.** ГЛУБОКОВОДНАЯ БЕНТОПЕЛАГИАЛЬ: ЖИЗНЬ У ДНА. М.: Научный мир, 2000. 240 с.

Говорят, что лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать. Не случайно многие достижения современной морской биологии связаны с использованием обитаемых подводных аппаратов. Находясь в них, наблюдатель может своими глазами видеть то, что скрыто в глубинах океана: креветок, ракообразных, головоногих, рыб, желетельные организмы (медуз, гребневиков, сифонофор).

Традиционно океан делят на

две основные области жизни: дно (бенталь) и толщу вод (пелагиаль). Работа по изучению глубоководного придонного слоя выполнялась в течение десяти лет Институтом океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Инициатором исследований стал академик М.Е.Виноградов.

В книге собраны материалы исследований придонного слоя в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах. Рассмотрены разные типы биотопов, зоны подводных поднятий и материкового склона, гидротермы. Описаны закономерности распределения, поведения, репродукции и питания придонных организмов, особенности филогенетических процессов. Показано отличие бентопелагиали от двух основных океанических биотопов: толщи воды и дна океана.

### Палеогеография

**Г.Э.Розенбаум, Н.А.Шполянская.** ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКАЯ ИСТОРИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ АРКТИКИ И ТЕНДЕНЦИИ ЕЕ БУДУЩЕГО РАЗВИТИЯ. М.: Научный мир, 2000. 104 с.

Наши знания о криолитозоне (вечной мерзлоте) склады-

вались на протяжении десятков лет. Сегодня установлены многие особенности этого явления, например взаимосвязь вечной мерзлоты с климатом и ландшафтами.

Авторы книги поставили цель – исследовать эволюцию криолитозоны Арктики в позднем кайнозойе и реконструировать историю ее возникновения. Ими разработаны палеогеографические и палеоклиматические сценарии экстремальных вариантов развития. Созданы региональные модели разных типов криолитозоны (субаэриального, субгляциального и субмаринного). Они отражают влияние на криолитозону Арктики комплекса природных факторов и в итоге выявляют преобладание региональных различий над зональными. На их основе составлены палеомерзлотные карты Арктики.

Проведены расчеты возможного изменения температуры и мощности криолитозоны под влиянием предполагаемого антропогенного потепления климата.

### Археология

**Х.А.Амирханов.** ЗАРАЙСКАЯ СТОЯНКА. М.: Научный мир, 2000. 248 с.

В 1980 г. в Зарайске, что на правом берегу Осетра, была обнаружена стоянка человека верхнего палеолита. Предысторией события послужили находки обработанного кремневого материала, собранные Л.И.Максимовой, главным хранителем краеведческого музея, на разрушаемом участке культурного слоя у северной стены Зарайского кремля. Научное же открытие памятника сделал А.В.Трусов, который заложил шурф и установил наличие культурных отложений. Раскопки длились в общей сложности

девять лет (1980-1988). В итоге граница распространения наиболее важного культурного явления верхнего палеолита Центральной и Восточной Европы оказалась отодвинутой далеко на восток и на север. Это явление известно как костенковско-виллендорфское культурное единство. Его ареал, ранее ограниченный на востоке Доном, теперь вообрал в себя и бассейн Оки.

В книге собраны материалы, касающиеся хронологии и периодизации этапов формирования культурных слоев. Описаны места обитания людей, природные и антропогенные факторы накопления отложений. Дается характеристика археологических объектов и находок, относящихся к верхнему палеолиту Русской равнины. Здесь, в частности, раскопаны два крупных углубленных очага, большое количество ям-хранилищ, ям-кладов кремниевых изделий и ям для складирования костей мамонта.

Работа выполнена сотрудниками отдела каменного века Института археологии РАН благодаря финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

### История науки. Геология

**В.И.Фельдман, А.Г.Кац.** ГЕОЛОГИЯ В ФИЛАТЕЛИИ. Парал. пер. на англ. И.А.Кубанцева, Б.А.Борисова, М.А.Аршиновой, А.С.Якубчука. М.: Земля, 2000. 484 с.

Филателия – коллекционирование марок, конвертов, открыток и других знаков почтовой оплаты – зародилась в 40-е годы XIX в., и довольно быстро стала одним из самых распространенных в мире увлечений. Международная федерация филателии объединяет сегодня более 120 стран.

Идея этой книги возникла благодаря Борису Федоровичу Чуркину – известному коллекционеру, автору каталога «Геологическая тематика в филателии». Авторы очерков – профессиональные геологи. Среди коллег их имена известны и уважаемы. Так, доктор геолого-минералогических наук Виллен Изильевич Фельдман – специалист в области петрографии магматических и метаморфических пород.

Иллюстрации взяты из уникальной, крупнейшей не только в России, но и во всем мире личной коллекции Арона Григорьевича Каца – старейшего геологоразведчика России. Более 50 лет он провел в экспедициях, исходил Якутию, Чукотку, Восточную Сибирь, участвовал в освоении месторождений редких металлов, платины, самоцветов.

Российская горно-геологическая служба, ведущая летоисчисление от указа Петра I «Об учреждении Приказа рудокопных дел», в 2000 г. отметила свое 300-летие. В канун этого праздника из двух увлечений авторов родилась книга.

В мире выпущено уже 5 тыс. марок, сюжетно связанных с геологией, ее ролью в жизни и развитии современного общества. Но, как правило, они не содержат даже кратких пояснительных текстов, и их информационная ценность невелика. Поэтому, объединить геологию и филателию под одной обложкой было решено нетрадиционным способом.

Книга состоит из очерков о геологах и геологии, о месте нашей планеты в Солнечной системе, о поиске и добыче полезных ископаемых и минералов. Но иллюстрируют их не привычные глазу рисунки и фотографии, а почтовые миниатюры – марки, открытки, конверты.



# Удивительный морской водоем

С.М.Игнатъев,

кандидат биологических наук

Институт биологии южных морей им.А.О.Ковалевского  
Севастополь (Украина)

Утром 16 июня 1890 г. на борту новой канонерской лодки «Черноморец» происходили события, нетипичные для боевого корабля русского флота. Два дюжих матроса, сменяя друг друга, вращали ручку лебедки. Боцман «из хохлов» внимательно наблюдал, как тонкий трос укладывается на барабан, время от времени бросая взгляд за борт. После того как несколько сот саженей троса было смотано, из воды показался черный цилиндрический предмет, который боцман ловко притянул к борту багром. Отыскав на корпусе сосуда медный краник, он открыл его, подставил под струю вытекающей воды заранее приготовленную склянку. Понюхав воду, с удивлением сказал стоявшему рядом бородачу в «партикулярном платье»: «Ваше высокородие, а вода-то того... воняет!» И действительно, из склянки несло характерным для сероводорода ( $H_2S$ ) запахом тухлых яиц. Это подтвердил и несложный химический анализ, выполненный прямо на палубе. В дальнейшем выяснилось, что все пробы воды и грунта, взятые с глубины свыше 100 м, содержали высокую концентрацию

этого ядовитого вещества. Так, по свидетельству участника событий, русского геолога Н.И.Андрусова\*, было сделано открытие, на ближайшие 100 лет определившее развитие морской биологии [1].

Конец XIX в. ознаменовался бурным развитием науки о море. Это объяснялось как чисто научными причинами (морские организмы оказались на более удобном объектом исследований), так и экономическими (первый кризис мирового рыболовства). Просвещенная публика, начитавшись И.Тургенева и Ч.Дарвина, «кинулась препарировать лягушек», доказывая верность эволюционного учения. Люди самого разного социального положения, именовавшие себя естествоиспытателями, группировались в кружки, общества, ложи. Основным местом для реализации их изысканий стали морские биологические станции. Вскоре ими обзавелись практически все примор-

ские страны\*. Опыт показал, что без государственной поддержки станции быстро прекращали свое существование. Но с другой стороны, в связи с колониальной политикой морских держав военный флот нуждался в океанографической информации. Создалась редкая в истории науки ситуация совпадения государственных и общественных интересов, что обеспечило прорыв в изучении «вечно живого моря». В описываемый период практически все морские державы организовывали комплексные крупномасштабные экспедиции, привлекая специалистов разных направлений и используя боевые и вспомогательные суда военно-морских флотов. Наиболее известными считаются экспедиции «Челленджера» (Великобритания, 1873—1886), «Газелле» (Германия, 1874—1876), «Блэка» (США, 1877—1886), «Пола» (Австро-Венгрия, 1880—1898).

После завершения русско-турецкой войны 1877—1878 гг. в условиях катастрофической нехватки корабельного состава командование флота понимало необходимость морских исследований. Эта работа

\* Андрусов Николай Иванович (1861—1927) — русский геолог и палеонтолог. Приват-доцент Новороссийского, профессор Юрьевского и Киевского университетов, академик. Инициатор и участник русских экспедиций по изучению Черного (1890), Мраморного (1894) и Каспийского (1894—1897) морей. Первым описал сероводородное заражение глубин Черного моря и связал этот факт с биологическими процессами. Умер в эмиграции, в Праге.

\* Первой русской морской биологической станцией стала Севастопольская (1871), ныне Институт биологии южных морей им.А.О.Ковалевского.

включала съемку береговой линии, промеры, изучение грунтов и рельефа дна, метеорологические, гидрологические и навигационно-гидрографические наблюдения (их выполнял вахтенный штурман), а также магнитные съемки. По предписаниям Морского ведомства была организована специальная Гидрографическая экспедиция Черного и Азовского морей под руководством капитана 1-го ранга В.И.Зарудного (1872—1886), исследовавшая преимущественно наименее изученные районы [2]. Однако для проведения крупномасштабных работ в открытых водах, необходимость которых давно назрела, требовались значительные средства, а главное, мореходные суда, которые мог дать только Черноморский флот. Между тем состоявшиеся в 1888—1889 гг. Международные конгрессы — геологический в Берлине и зоологический в Париже — фактически обязали Россию исследовать Черное и Азовское моря. Планировалось организовать международную экспедицию, для которой Австро-Венгрия согласилась выделить вспомогательное судно «Пола». Осуществление этого проекта не только наносило удар престижу Российской Империи как морской державы, но и давало в руки потенциального противника важную стратегическую информацию. Поэтому было принято решение об организации российской экспедиции по изучению Черного моря.

Идея придать будущей экспедиции комплексный характер принадлежит Андрусову. Основные положения исследовательской программы он изложил в своем докладе на 8-м съезде русских естествоиспытателей и врачей, который состоялся в декабре 1889 г. Выступивший там председатель Императорского Русского географического общества (РГО) П.П.Семенов-

Тян-Шанский фактически обеспечал поддержку в проведении экспедиции. Доклад «О необходимости глубоководных исследований в Черном море» [3] был прочитан Николаем Ивановичем 1 января 1890 г. на заседании РГО, получил полную поддержку и стал основой для представления программы будущей экспедиции.

Обосновывая необходимость комплексных исследований, Андрусов отмечал, что основная масса промерных работ и определений солености, температуры и плотности морской воды была выполнена в мелководной части северо-западных и западных берегов Черного моря. Практически отсутствовали данные для восточного и южного берегов, а также для центральной части моря. Не было данных и о прозрачности морской воды, а также о глубине, на которую распространяются действия волн и течений. Оставался открытым вопрос о системе течений в Черном море. Практически не имелось данных о составе грунтов для большей части Черного моря, неизвестен был рельеф дна. Андрусов также настаивал на проверке гипотезы о существовании между Крымом и турецким побережьем подводной возвышенности, разделяющей Черноморскую котловину.

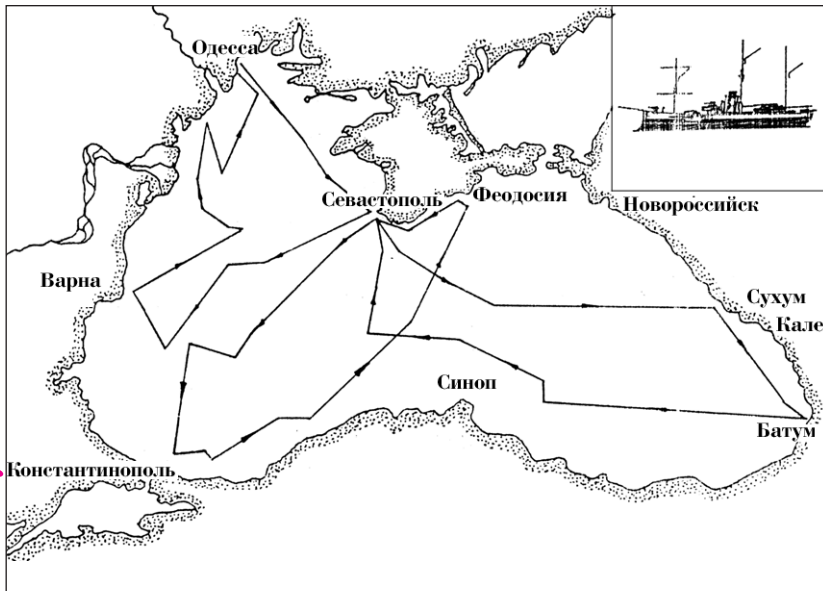
«Еще менее можно похвастаться нашими фаунистическими и флористическими знаниями Черного моря. Правда, в настоящее время нельзя уже говорить о беспримерной бедности черноморской фауны. Уже теперь мы можем насчитать до 850 видов, ставших известными для Черного моря, но эти 850 видов собраны лишь в прибрежной полосе. Из глубин больших 70 сажень в Черном море не добыто ни одного живого существа. Даже само существование глубоководной фауны в Черном море является фактом недоказанным» [3, с.175].

Таким образом, в изучении жизни Черного моря были «одинаково заинтересованы и физик, и химик и зоолог». Но требовалось содействие военных моряков, которые должны были осознать важность всестороннего изучения русских южных морей. «Было бы обидным для русского флота и русских ученых если бы русские воды были изучены иностранцами или по их инициативе». В докладе Андрусова содержалась также критика Морского ведомства, лишившего «наш военно-морской флот права, которым он пользовался с незапамятных времен, — права идти впереди других в географических исследованиях» [3, с.177].

Благодаря представлению совета РГО и «просвещенному вниманию господина управляющего Морским ведомством Н.М.Чихачева» было принято решение организовать «глубоководную экспедицию». Со стороны властей работу координировал заведующий отделением Морской обсерватории при Главном гидрографическом управлении флота (ГГУ) подполковник И.Б.Шпиндлер\*, который и возглавил экспедицию. В ее состав были командированы гидролог лейтенант Ф.Ф.Врангель, руководивший осенью 1873 г. экспедицией на шхуне «Ингул», и приват-доцент Н.И.Андрусов, взявший на себя и биологическую часть программы. Все расходы по содержанию легли на Морское ведомство. Оно же и выбрало судно — новую канонерскую лодку «Черноморец», построенную в 1889 г. для проведения исследований Черного моря.

14 июня 1890 г. «Черноморец» под командованием капитана 2-го ранга Н.Смирнова

\* Шпиндлер Иосиф Бернардович (1848—1919) — русский океанолог и метеоролог. Организатор и руководитель экспедиций по исследованию Черного (1890—1891), Азовского (1891), Мраморного (1894) морей, Чудского озера (1895) и залива Кара-Богаз-Гол (1897).



Маршрут черноморского этапа «глубоководных экспедиций» 1890–1891 гг. на канонерских лодках «Черноморец», «Запорожец» и «Донец».

вышел из Николаева. Утром 16 июня против мыса Тарханкут была выполнена первая комплексная станция с драгировками на глубине 22 саженей (40 м). Всего за период экспедиционных работ, продолжавшихся ровно месяц, «Черноморец» прошел свыше 2500 миль. Было выполнено 60 комплексных станций (из них 37 глубоководных), 889 измерений температуры морской воды на разных глубинах, 446 определений удельного веса морской воды, 13 драгировок. Кроме того, путем опускания на разную глубину электрической лампочки измерялась прозрачность воды в ночное время. Были получены результаты, коренным образом изменившие существовавшие представления о Черном море [4]. Установили, что дно его центральной части — это ровная (без возвышенностей) глубокая котловина с максимальной глубиной 2244 м. Со дна на глубинах 300–400 м были подняты остатки раковин ископаемых моллюсков, ныне в Черном море не живущих, но известных в опрес-

ненных районах Каспийского моря, что свидетельствует о существовании в прошлом единого Каспийско-Черноморского бассейна. Были открыты также обширные области модиолового (фазеолинового) ила, наиболее глубоководного биоценоза Черного моря\*. Экспедиция отметила обширные скопления красной водоросли филлофоры в северо-западной части моря. Для Черного моря впервые были описаны донные осадки, которые содержали «любопытные железистые желваки» вокруг раковин ископаемых моллюсков. Эти образования, поднятые уже первыми драгировками из аэробной (окисной) зоны с глубин до 200 м, известны современной науке как железомарганцевые конкреции. Но основным результатом экспедиции по праву считается открытие сероводородного заражения черноморских глубин.

\* По названию доминирующего моллюска *Modiolus phaseolus*, который обитает в Черном море на границе сероводородной зоны (60–180 м), в так называемой зоне загнивающей жизни.

С целью проверки научных результатов в 1891 г. была организована вторая «глубоководная экспедиция». Для ее проведения были выделены две канонерские лодки «Донец» и «Запорожец», однотипные с «Черноморцем». Начальником экспедиции остался Шпиндлер, но научный состав был значительно расширен за счет еще одного гидролога (капитана С.Г.Попруженко из Морской обсерватории), биологов (заведующего Севастопольской биологической станцией А.А.Остроумова и приват-доцента Киевского университета В.А.Каравая) и химиков (А.А.Лебединцева и профессора Московского университета В.В.Марковникова). В августе 1891 г. к ним присоединился специально приглашенный для бактериологического анализа грунтов химик приват-доцент Новороссийского университета Н.Д.Зелинский, впоследствии ставший известным академиком. Экспедиция 1891 г., повторившая маршрут и программу первой, осуществлялась в два этапа: с 5 по 29 мая — на канонерской лодке «Донец» (капитан 2-го ранга А.Мартын) и с 29 июля по 16 августа — на канонерской лодке «Запорожец» (капитан 2-го ранга В.Пуцилло). Между этими этапами по инициативе И.Б.Шпиндлера участники экспедиции с 14 по 24 июня выполнили работы в Азовском море на «Казбеке» (капитан 2-го ранга И.Попов). Особое внимание было уделено изучению феномена сероводородного заражения. Для этой цели механиком Новороссийского университета И.А.Тимченко был изготовлен специальный батометр весом 24 кг и емкостью 5.5 л. Его внутренняя поверхность была позолочена, чтобы исключить окисление сероводорода при его контакте с металлом. Батометр имел специальное окошечко для наблюдения за газами и крепление для глубоководного тер-

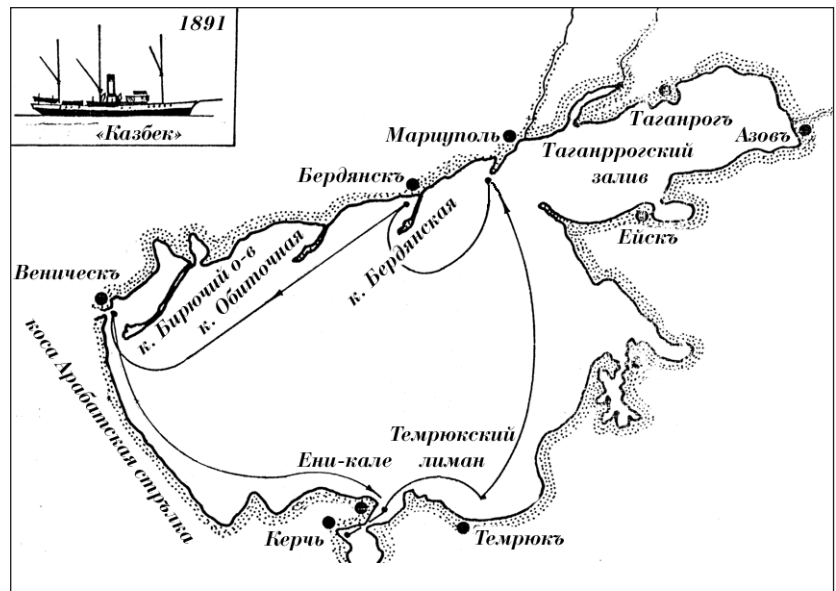


мометра. Впервые в экспедиционных условиях были испытаны батометр Майера с падающим цилиндром и оригинальные металлические оправы для поверхностных термометров (так называемой оправы Шпиндлера) [5].

Всего во время второго этапа было выполнено 148 станций: 72 — с «Донца», 54 — с «Запорожца» и 22 — с «Казбека». Из них 58 — глубоководные. Вторая экспедиция полностью подтвердила выводы первой, обнаружив сероводород на всех глубоководных станциях. Анализ полученных проб позволил Зелинскому предположить биологическое происхождение сероводорода. Его накопление объяснялось как разложением отмерших организмов, поступающих из верхних слоев, так и восстановлением сульфатов при жизнедеятельности бактерий. Кроме того, в прибосфорском районе были обнаружены глубинные воды с высокой соленостью, что подтверждало теорию С.О.Макарова о наличии глубинного течения из Мраморного моря в Черное. Были найдены представители средиземноморской фауны, а также новые для науки виды. Материалы экспедиций обрабатывались в течение восьми лет и были опубликованы [4, 5].

Практически одновременно с русскими черноморскими экспедициями в восточной части Средиземного моря работала экспедиция Австро-Венгерского военного флота на судне «Пола». Первоначально работами предполагалось охватить прибосфорский и центральный районы Черного моря, но после несомненного успеха русских от этих планов отказались. Известно, что в начале 1890 г. Андрусов посещал Венский университет, где занимался унификацией методов сбора данных.

Комплексные экспедиции 1890—1891 гг. описали многие



Маршрут азовского этапа «глубоководных экспедиций» 1891 г. на «Казбеке».

физические и биологические условия Черного моря. Известный океанолог Ю.М.Шокальский, считая их «первым и лучшим образцом океанографической съемки крупного водного бассейна», отмечал: «Обследование Черного моря, выполненное Главным гидрографическим управлением в 1890—1891 гг., открыло миру совершенно особенный и удивительный по своим свойствам морской водоем» [6].

Но, несмотря на высокую оценку результатов, «глубоководные экспедиции» обнаружили серьезные недостатки в организации. Прежде всего оказалось нецелесообразным использование боевых кораблей (в дальнейшем от этой практики отказались и другие страны). Для проведения исследовательских работ получить у Морского ведомства даже «устаревшее судно» удавалось с трудом, лишь при крайне «благоприятных обстоятельствах». Нередко это рассматривалось как «личная особая любезность». Но даже и в таких случаях естествоиспытателю приходилось согласовывать свои научные интересы с корабель-

ным уставом. Не просто складывались и отношения с экипажами кораблей, назначаемых в экспедицию. Если Остроумов восхищался «высоким профессионализмом господ офицеров и трудолюбием нижних чинов», то Андрусов с горечью отмечал: «Я отнюдь не хочу сказать, что среди военных моряков нет людей, проявляющих живой интерес к науке. Достаточно вспомнить имена Сигсби, Макарова, Таннера, Чиерча и др. Но к сожалению, прямые задачи военноморского дела допускают научные исследования только в качестве побочного занятия, развлечения. Равным образом при комплектовании редко привлекаются такие офицеры, которые сами стремятся участвовать в научных исследованиях» [7]. Кроме того, военные корабли в большинстве своем оказались не приспособленными нести сложное и громоздкое оборудование для океанографических и гидробиологических исследований. Опыт «глубоководных экспедиций» наглядно показал необходимость наличия «в составе флота судна, исключительно посвящен-

ного научным целям». К сожалению, неприязненные отношения, доходившие до личных конфликтов между строевыми офицерами и естествоиспытателями, были характерны не только для русского флота. Ненавистой работой считали глубоководные драгировки практически все офицеры «Челленджера», вынужденные по 10–12 ч простаивать на вахте для того, чтобы «натураллисты в комфортабельных каютах с энтузиазмом описывали какого-нибудь нового червя». Аналогичная ситуация складывалась и на «Пола», о чем свидетельствуют мемуары офицеров.

Глубомерные экспедиции 1890–1891 гг. носили в основ-

ном рекогносцировочный характер и охватывали только один, летний сезон. Они поставили новые, более сложные вопросы, для решения которых требовались долговременные исследования. Для этой цели под эгидой Императорского Русского географического общества планировалось создать единый центр (Черноморский музей), который координировал бы действия заинтересованных министерств и ведомств. Крупномасштабные комплексные исследования Черного моря были надолго прекращены (до 1923 г.). Несомненный успех экспедиций побудил Морское ведомство к проведению аналогичных исследова-

ний в других стратегически важных для России регионах. Таковыми стали Баренцево (1893), Мраморное (1894) и Каспийское (1897) моря. При этом программы экспедиций строились на едином комплексном подходе, когда исследованиями были охвачены основные уровни (гидрология, гидрохимия и биология) морской среды. Жаль только, что корабли науки часто оказывались в тени тех научных результатов, которые были получены с их помощью. По скупой информации, разбросанной в специальной литературе, мало что можно узнать об этих кораблях русского флота и об их экспедиционном обеспечении. ■

## Литература

1. Пузанов И.И. Крымский рейс «Меотиды» 1909 г.: Воспоминания участника экспедиции. (Рукопись. Архив ИБЮМ).
2. Гидрография Черноморского флота (1696–1982 гг.): Исторический очерк. Севастополь, 1984.
3. Андрусов Н.И. // Изв. Императ. Рус. геогр. об-ва. 1890. Т.26. Вып.2. С.171–185.
4. Врангель Ф.Ф. // Там же. С.310–320.
5. Шпиндлер И.Б. // Там же. 1891. Т.28. С.101–110.
6. Шокальский Ю. Океанография. Пг., 1917.
7. Andrusow N.I. // Verhandl. Geol. Reichsanst. 1898. №13. S.292–296; Академик Н.И.Андрусов: Избранные труды. М., 1965. Т.4. С.73–76.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

**Ю.К.ДЖИКАЕВ**

Научные редакторы

**О.О.АСТАХОВА**

**Л.П.БЕЛЯНОВА**

**Е.Е.БУШУЕВА**

**М.Ю.ЗУБРЕВА**

**Г.В.КОРОТКЕВИЧ**

**К.Л.СОРОКИНА**

**Н.В.УЛЬЯНОВА**

**Н.В.УСПЕНСКАЯ**

**О.И.ШУТОВА**

Литературный редактор

**М.Я.ФИЛЬШТЕЙН**

Художественный редактор

**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией

**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор

**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:

**П.А.ХОМЯКОВ**

Набор:

**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры

**В.А.ЕРМОЛАЕВА**

**Л.М.ФЕДОРОВА**

Графика, верстка:

**Д.А.БРАГИН**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредители:

Президиум РАН,  
Издательско-производственное и  
книготорговое объединение  
«Наука»

Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Мароноковский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77

Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 09.04.2001

Формат 60×88 1/8

Бумага типографская №1,  
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 2074

Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6