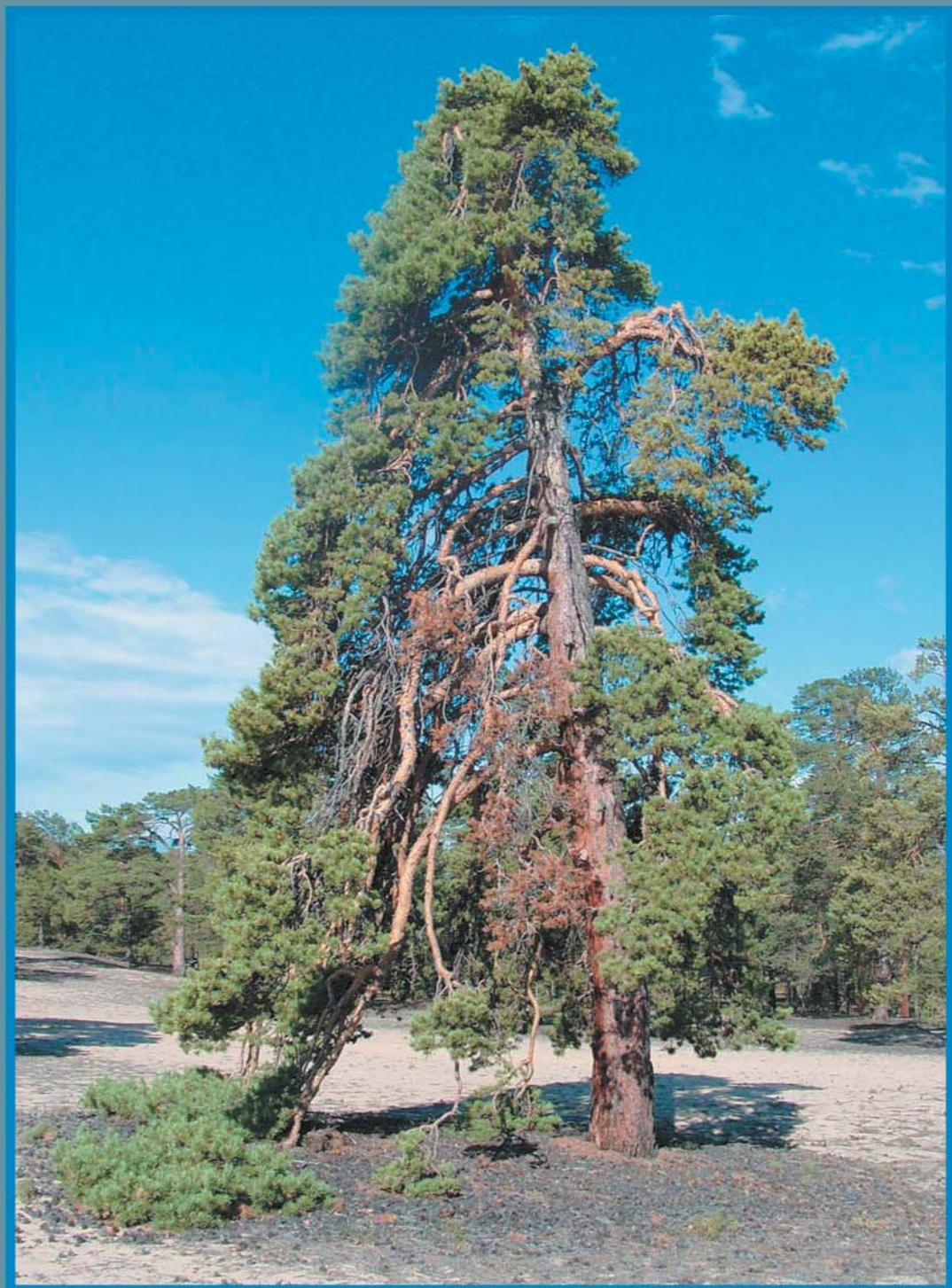


# ПРИРОДА

2 05



**В НОМЕРЕ:**

**3** **Бялко А.В.**  
**Итоги конкурса научно-популярных статей**

**5** **Рембеза С.И.**  
**Нужен ли человечеству искусственный нос?**

*Свои глаза человек давно вооружил очками, микроскопом, телескопом. Нашим ушам помогают не только слуховые аппараты, но и приборы, воспринимающие инфра- и гиперзвуки. А можно ли с помощью техники обострить обоняние?*

**13** **Корнев П.Н., Чесунов А.В.**  
**Тантулокариды — микроскопические обитатели Белого моря**

*Впервые в российских водах, на мелководье, обнаружены паразитические рачки, которые до сих пор считались обитателями в основном больших глубин Мирового океана.*

**19** **Лейн А.Ю., Иванов М.В.**  
**Крупнейший на Земле метановый водоем**

*Около 80% метана, растворенного в водной толще Черного моря, образуется за счет активности метанобразующих микроорганизмов.*

**27** **Бурштейн Е.Ф.**  
**«Медный изумруд» казахских степей**  
История минерала и месторождения

**30** **Калейдоскоп**  
Астероид промахнулся, но... (30). «Дайте мне новое лицо» (31). Найден «Бигль»? (31). Океанские пустыни оживают после урагана (31).

**32** **Бородин П.М., Д'Андрея П.С., Баррейро Гомес С.К.**  
**Естественная история зверя пунаре в 8½ главах**

*Изучение гибридов пунаре дает возможность ответить на нерешенные до сих пор вопросы: как из одного вида получается несколько; где та грань, за которой отдельные популяции становятся разными видами?*

**40** **Лисицын Б.Е.**  
**Космические снимки для картографирования биологической продуктивности морей**

**46** **Смирнов Е.Н.**  
**Завороженные тайгой**  
К 70-летию Сихотэ-Алинского заповедника  
*Заповедники сохраняются самоотверженным трудом работающих там людей. Но нужна еще и государственная заинтересованность.*

**Заметки и наблюдения**

**56** **Щетников А.А.**  
**Катастрофический паводок Иркутск**  
**Агафонов Б.П.**  
**Самозащита деревьев на сыпучих песках (60)**

**Научные сообщения**

**64** **Сурдин В.Г.**  
**Метеорит с Фобоса?**  
**Басов И.А.**  
**Микробные сообщества в океанской литосфере**  
201-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн» (66)

**68** **Архивные SMS-ки**  
**Премьер Столыпин: «Примите уверение в совершенном моем уважении...»**

**69** **Холлоуэй Дэвид**  
**Оппенгеймер и Харитон: параллели жизни**

**79** **Новости науки**  
Двойной радиопульсар (79). Планета «командует» своей звездой (79). Последствия самых мощных вспышек на Солнце (80). Оценка лунных ресурсов (80). Сбор метеоритов в пустыне. Сурдин В.Г. (81). Упорядоченная плазма (82). «Сорная» ДНК — ключ к пониманию сложности? (82). Удвоение генома дрожжей в ходе эволюции. Петров П.Н. (83). Война зрения с обонянием (83). Полиплоидия мышечных клеток сердца. Липина Т.В. (83). Как живет комодскому дракону? (84). Премия за гибридные сорта риса (84). Сохранить камчатских лососей. Жукова Е.Е. (85). Летучая мышь против ветровой энергетики (85). Мантийные плюмы множатся (85). Проблема сейсмического прогноза остается нерешенной (86). Трудное время для земных ледников (87). Следы древнейшей жизни — в донной лаве? (88). Кто и когда одомашнил кошку? (88).  
Коротко (26, 63, 67)

**Рецензии**

**89** **Горелик Г.Е.**  
**Эпоха глазами личности**

**93** **Новые книги**

**94** **Баскин Л.М.**  
**Встречи с забытым**  
**Возвращение зубров в Россию**

## CONTENTS:

- 3 Byalko A.V.**  
**Results of Popular Scientific Articles Competition**

- 5 Rembesa S.I.**  
**Does Mankind Have Need for Artificial Nose?**

*Long ago people have strengthened their eyesight by spectacles, microscope and telescope. Our ears are equipped not only by hearing-aids, but also by devices perceptive of infra- and ultrasound. Is it possible by some technical equipment to make our sense of smell more acute?*

- 13 Kornev P.N., Chesunov A.V.**  
**Tantulocarides – A Group of Microscopic Marine Creatures in White Sea**

*For the first time in Russian shallow waters were found parasitic crustaceans that until now were considered mainly as inhabitants of great depths of the world ocean.*

- 19 Lein A.Yu., Ivanov M.V.**  
**The World Largest Methane Reservoir**

*About 80% of methane dissolved in the waters of Black Sea is formed by methane producing bacteria.*

- 27 Burstein E.F.**  
**«Copper Emerald» of Kazakh Steppe History of a Mineral and Its Deposit**

- 30 Kaleidoscope**

*Asteroid Had Missed, but... (31). «Give Me a New Face» (31). «Beagle» Is Found? (31). Ocean Deserts Revive after Hurricane (31).*

- 32 Borodin P.M., D'Andreja P.S., Barreiro Gomes S.C.**  
**Natural History of Punare Animal in 8½ Chapters**

*Study of punare hybrids gives a chance to propose possible answers to unresolved problems: how from one species evolve several, and from what point separate populations become different species?*

- 40 Lisitzin B.E.**  
**Satellite Photography for Cartography of Biological Productivity of Seas**

- 46 Smirnov E.N.**  
**Enchanted by Taiga**  
 To 70th Anniversary of Sichote-Alinskiy Forest Reserve

*Forest reserves are conserved by self-denying devotion of enthusiasts who work there. But concernment of government is also needed.*

### Notes and observations

- 56 Shchetnicov A.A.**  
**A Catastrophic Flood of Irkut**

- Agafonov B.P.**  
**Self-defense of Trees on Quick Sands (60)**

### Scientific Communications

- 64 Surdin V.G.**  
**A Meteorite from Phobos?**

- Basov I.A.**  
**Microbial Communities in Ocean Lithosphere**  
 201th Expedition of «JOIDES Resolution» (66)

- 68 Archive SMS**  
**Prime minister Stolypin: «Accept Assurances in My Complete Respect...»**

- 69 Holloway David**  
**Oppenheimer and Khariton: Paralleles of Life**

- 79 Science News**

Double Radiopulsar (79). A Planet «Governs» its Star (79). Aftermath of the Most Powerful Solar Bursts (80). Lunar Resources Evaluation (80). Collecting Meteorites in a Desert. Surdin V.G. (81). Well-ordered Plasma (82). «Junk» DNA — a Key to Understanding Complexity? (82). Doubling of Yeast Genom During Evolution. Petrov P.N. (83). A War of Vision with Smell (83). Polyploidia of the Cardiac Myocytes. Lipina T.V. (83). How Does Komodo Dragon Live? (84). Prize for Hybrid Varieties of Rice (84). Conserve Kamchatka Salmon Species. Zhukova E.E. (85). Bats Against Wind Turbines (85). Mantle Plums are Multiplying (85). The Problem of Seismic Event Prediction Remains Unsolved (86). Hard Times for Land Glaciers (87). The Traces of the Most Ancient Life — in Seabed Lava? (88). Who and When Had Domesticated a Cat? (88).  
 In Brief (26, 63, 67)

### Book Reviews

- 89 Gorelik G.E.**  
**An Epoch by Eyes of Personality**

- 93 New Books**

### Encounters with Forgotten

- 94 Baskin I.M.**  
**The Return of Bisons to Russia**

# Итоги конкурса научно-популярных статей



Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) подвел итоги традиционного, седьмого конкурса научно-популярных статей среди участников исследовательских проектов. Присуждено 34 премии из возможных 42 (по шесть премий в каждом из семи отделов РФФИ). Как и на предыдущих конкурсах, трудно поддается популяризации современная математика и механика (всего одна премия), не хватает популярных идей химикам (четыре премии), специалистам некогда внедрять в народное сознание быстро развивающиеся ресурсы информатики и телекоммуникации (два лауреата). Более наглядные научные области взяли на себя часть высвободившихся наград (науки о Земле – восемь премий). В целом это распределение в какой-то степени отражает и современное отношение читающей публики к различным наукам. Общий же научный уровень конкурса вполне достойный, а среди статей победителей есть очень содержательные и выразительно написанные статьи. Вот имена победителей.

## МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

**Лисейкин В.Д.** Передовые технологии построения разностных сеток (Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск).

## ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

**Акципетров О.А.** Нелинейная оптика поверхности и наноструктур (физический факультет МГУ);

**Ермолаев Ю.И.** Геоэффективность солнечных и межпланетных явлений (Институт космических исследований РАН);

**Звездин А.К.** Квантовая механика плененных фотонов. Оптические резонаторы, волноводы, фотонные кристаллы (Институт общей физики им.А.М.Прохорова РАН);

**Недорезов В.Г.** Использование синхротронного излучения в медицине (Институт ядерных исследований РАН);

**Рембеза С.И.** Нужен ли человечеству искусственный нос? (Воронежский государственный технический университет);

**Решетников В.П.** Эти странные галактики с полярными кольцами (Научно-исследовательский астрономический институт им.В.В.Соболева Санкт-Петербургского государственного университета).

## ХИМИЯ

**Еремин В.В., Кузьменко Н.Е.** Квантовая динамика и химическая кинетика в фемтохимии (химический факультет МГУ);

**Калинкин А.М., Калинкина В.В.** Магма в ступке (Институт химии и технологии редких

элементов и минерального сырья им.И.В.Тананаева Кольского научного центра РАН (Апатиты, Мурманская обл.);

**Левицкий М.М., Смирнов В.В.** Каталитический этюд (Институт элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН);

**Филлипова О.Е.** Умные полимерные гидрогели (физический факультет МГУ).

## БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНСКАЯ НАУКА

**Ванюшин Б.Ф.** Материализация эпигенетики, или небольшие изменения в ДНК с большими последствиями (Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им.А.Н.Белозерского МГУ);

**Беда Н.В., Недоспасов А.А.** Биогенные оксиды азота (Институт молекулярной генетики РАН);

**Бородин П.М.** Естественная история зверя пунаре в 8½ главах (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск);

**Виноградова Е.Б.<sup>1</sup>, Захаров-Гезехус И.А.<sup>2</sup>** Городской комар (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург<sup>1</sup>; Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН<sup>2</sup>);

**Корнев П.Н., Чесунов А.В.** Тантулокариды – новые микроскопические обитатели Белого моря (биологический факультет МГУ);

**Новицкая Л.Л., Кушнир Ф.В.** Некоторые причины аномалий роста и развития у древесных растений (Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск);

**Филиппович С.Ю., Бачурина Г.П., Крицкий М.С.** Супермодель нейроспора (Институт биохимии им.А.Н.Баха РАН).

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

**Кароль И.Л., Киселев А.А.** Атмосферный метан и глобальный климат (Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург);

**Котляков В.М., Рототаева А.Н.** Ледниковая катастрофа на Северном Кавказе (Институт географии РАН);

**Никонов А.А.** «Сейсмические мотивы в «Калевале» и реальные землетрясения в Карелии» и «Сильнейшие исторические землетрясения на Алтае и сейсмический потенциал региона» (Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН);

**Расцветаева Р.К.** Великаны в стране пигмеев (минералогическая сказка) (Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН);

**Рогожин Е.А.** «Землетрясение в Иране» и «О сильном землетрясении на Алтае» (Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН);

**Рянжин С.В.** Сколько на Земле озер, каковы их общая площадь и объем, и что с ними будет, если изменится климат? (Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург);

**Филинов И.А., Щетников А.А.** Водопады Юго-Западного Прибайкалья (Институт земной коры СО РАН, Иркутск);

**Чабовский А.В., Неровнов В.В.** Черные земли: полупустыня вновь становится степью (Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН);

## НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

**Березкин Ю.Е.** Мифы далекого прошлого (Музей антропологии и этнографии им.Петра Великого (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург);

**Боринская С.А., Коротаев А.В.** Алгебра и гармония социальных структур: от общины до

империи (Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН);

**Животовский Л.А.** Расы и гены: генетическое сходство и различие народов (Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН);

**Куликов Г.А., Андреева Н.Г.** О гласных младенцев, певцов и попугаев — что общего? (Научно-исследовательский институт физиологии им.А.А.Ухтомского Санкт-Петербургского государственного университета);

**Рязанцев С.В.** Демографические потери населения в России и на Северном Кавказе в результате преждевременной смертности (Институт социально-политических исследований РАН);

**Селунская Н.А.** Перевод и популярность научной исторической литературы в России и Европе: античная история как всеобщее увлечение XVIII — начала XX в. (Государственное учреждение Институт всеобщей истории РАН).

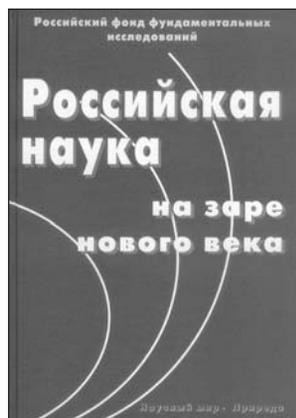
## СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

**Варламов В.В., Бобошин И.Н.** Базы данных как новое эффективное средство научного познания (Научно-исследовательский институт ядерной физики им.Д.В.Скобельцына МГУ);

**Никифорова С.А., Баранов В.А., Вотинцев А.А., Гнутиков Р.М., Зуга О.В., Миронов А.Н., Ощепков С.В., Романенко В.А., Рябова Е.В.** Новые компьютерные технологии для исследования древнейших памятников письменности: ступени к диалогу точных и гуманитарных наук (Удмуртский государственный университет, Ижевск).

**Мы поздравляем лауреатов, среди которых немало авторов нашего журнала. Все статьи победителей конкурса будут опубликованы в сборнике, название которого традиционно начнется со слов «Российская наука». Перед вами обложки предыдущих сборников.**

© А.В.Бялко,  
доктор физико-математических наук,  
заместитель главного редактора журнала «Природа»  
Москва





# Нужен ли человечеству искусственный нос?

С.И.Рембеза

**М**ногие эпохи (вплоть до XVI—XVII вв.) человечество довольствовалось данными ему от природы органами чувств — зрением, слухом и обонянием. Но с тех пор, как человек вооружил свой глаз очками, линзами микроскопа и телескопа, он старался расширить возможности своего зрения не только ради увеличения изображений предметов, но и для выхода за пределы спектрального интервала видимого света (примерно от 0.4 до 0.6 мкм). Благодаря достижениям науки мы теперь можем «видеть» почти во всем диапазоне электромагнитных волн — от рентгеновского излучения до сверхдлинных радиоволн, различать отдельные атомы и самые отдаленные галактики. Так человечество преуспело в усовершенствовании зрения.

Первым шагом в создании искусственного уха можно считать изобретение слуховой трубки для слабослышащих людей. В дальнейшем человек научился различать инфразвуки и гиперзвуки, хотя само по себе человеческое ухо ощущает воздушные колебания только в ограниченном диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц. Сейчас нам доступны для наблюдений и исследований интервалы частот от  $10^{-3}$  до  $10^{12}$  Гц; с помощью



*Станислав Иванович Рембеза, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой полупроводниковой электроники Воронежского государственного технического университета. Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов — физика точечных дефектов в полупроводниках, физика поверхности полупроводников, полупроводниковые приборы.*

ультразвуковых сонаров мы ориентируемся в глубинах океана, на инфразвуковых частотах вслушиваемся в дыхание Земли перед землетрясением. Так что в создании искусственного уха также достигнуты впечатляющие успехи.

Искусственный нос, или искусственный орган обоняния, призван обогатить наши ограниченные природные данные по восприятию запахов, в том числе недоступных человеческому носу. Ведь известно, что многие ядовитые ( $\text{CO}$  — угарный газ и др.) и взрывоопасные ( $\text{H}_2$  — водород,  $\text{CH}_4$  — метан и др.) газы не имеют ни цвета, ни запаха. Частично эту проблему можно решить, используя обоняние животных, но лучше все-таки иметь надежный физический прибор для обнаружения различных газов и определения их количества в воздухе, так как 2—3% водорода или метана уже образуют взрывоопасную гремучую смесь. Наличие в воздухе примесей некоторых газов научились контролировать еще в XVIII в. по определенным химическим реакциям, а позднее — по спектрам излучения и поглощения света или с помощью масс-спектрокопии. Однако сделать на этих принципах компактный недорогой прибор, улавливающий разнообразные газы, пока не представляется возможным.

История создания искусственного носа намного короче, чем история искусственного глаза или уха. Она теснейшим образом связана с развитием физики, теории и технологии полупроводников: уже при исследовании первых полупроводниковых материалов ( $\text{ZnS}$ , Ge и др.) было замечено, что электрофизические свойства их поверх-

© Рембеза С.И., 2005

ности зависят от состава окружающей газовой атмосферы. Именно это обстоятельство заставило в дальнейшем тщательно герметизировать все полупроводниковые приборы и интегральные схемы, чтобы переменный газовый состав окружающей среды не влиял на электрические параметры изделий. Большой теоретический вклад в понимание природы взаимодействия газов с поверхностью полупроводников был сделан А.Ф.Иоффе, Ф.Ф.Волькенштейном и др. [1].

Все эти работы относятся к 40–60-м годам XX в. Начало практическому использованию эффекта влияния газов на электрические свойства поверхности полупроводников положил в 60-х годах японец Н.Тагучи. На основе керамического  $\text{SnO}_2$  он изготовил газочувствительное устройство, электросопротивление которого изменялось пропорционально концентрации некоторых газов в воздухе, и запатентовал его. Прибор позволяет контролировать содержание в воздухе  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  и др. Японская компания «Figa» до сих пор ежегодно выпускает миллионы таких датчиков, и они широко применяются, например, в системах предупреждения взрывов при работах с природным газом. Главное их достоинство — возможность многократного использования (после десорбции газа при повышенной температуре). Позже было установлено, что практически все окислы металлов, являющиеся полупроводниками, обладают газовой чувствительностью. В настоящее время изготавливают датчики газов на основе  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{WO}_3$  и других окислов. Можно ли считать, что задача создания искусственного носа уже решена? К сожалению, это не так, и ниже мы поговорим о современном состоянии дел в данной области, возникших проблемах и путях их решения, а также дальнейших перспективах создания искусственного носа.

## Датчики газов чувствительнее собачьего носа?

Обоняние человека работает за счет взаимодействия молекул газов со специальными высокочувствительными рецепторами носа. Аналог такого рецептора в системе искусственного носа — отдельный датчик газов, который должен обладать высокой чувствительностью и селективностью к разным газам.

По принципам действия современные датчики газов многократного действия условно можно разделить на 4 группы: 1 — термокондуктометрические ячейки; 2 — каталитические ячейки; 3 — топливные ячейки; 4 — полупроводниковые датчики.

Работа термокондуктометрической ячейки основана на сравнении теплопроводности исследуемой пробы газа с теплопроводностью чистого воздуха или другого известного газа. Сопоставляются интенсивности теплоотвода от двух нагретых спи-

ралей: одной — в измерительной камере с пробой газа, и второй — в камере сравнения с чистым воздухом. Чем выше теплопроводность контролируемого газа по сравнению с воздухом, тем быстрее будет остывать нагретая до определенной температуры спираль в измерительной камере; электросопротивление спирали будет при этом падать. Включение измерительной спирали и спирали сравнения в мостовую схему обеспечивает достаточную точность измерений. К сожалению, метод удобен лишь для контроля заранее известных газов, сильно отличающихся по теплопроводности от воздуха — водорода, гелия, двуокиси углерода, диоксида серы и некоторых других. Достоинство метода — в простоте конструкции датчика и возможности измерять концентрации конкретных газов от 0 до 100%. Но смеси неизвестных газов с неизвестной величиной теплопроводности таким способом контролировать нельзя.

Каталитическая (термохимическая) ячейка предназначена для обнаружения только горючих газов, например, монооксида углерода в автомобильном выхлопе или в окружающем воздухе, либо метана при утечке бытового газа. В измерительной ячейке такого датчика находятся одновременно две включенные в мостовую схему нагревательные спирали при одинаковой температуре, одна из которых покрыта активным катализатором. При попадании в ячейку горючего газа ( $\text{CO}$ ) он будет реагировать с кислородом воздуха на катализаторе, сгорая и образуя диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ). При этом выделяется тепло, повышающее температуру и, соответственно, электросопротивление спирали пропорционально количеству сгорающего газа. Такой датчик позволяет обнаруживать концентрации  $\text{CO}$  на уровне  $10^{-4}\%$ . Недостаток ячейки — низкая селективность к разным горючим газам и невозможность обнаружения негорючих газов. Датчик такого типа называется пеллитор.

С помощью топливной, или электрохимической ячейки можно обнаружить наличие исключительно кислорода или газа, содержащего кислород (например, воздуха). В такой ячейке имеются два электрода, между которыми расположен жидкий или твердый электролит, например ионный проводник  $\text{ZrO}_2$  с примесью  $\text{Y}_2\text{O}_3$ . Если между двумя электродами (внутри выхлопной трубы и снаружи) концентрация ионов кислорода меняется, возникает ионный ток, или электродвижущая сила, пропорциональная разности концентраций ионов кислорода. Величина возникающего электрического поля служит мерой содержания кислорода. По такому принципу работает  $\lambda$ -зонд для контроля количества кислорода в выхлопном газе автомобиля (контроль степени сгорания топлива) и для регулировки работы карбюратора. Работа  $\lambda$ -зонда требует температуры не менее  $500^\circ\text{C}$ , которую обеспечивают горячие выхлопные газы. Подробнее об устройстве и сферах применения перечисленных датчиков можно узнать из книги [2].

В настоящее время наиболее распространены и перспективны полупроводниковые датчики газов из перечисленных выше оксидов металлов. Принцип их действия основан на том, что в результате физической адсорбции молекул газа на поверхности полупроводника его поверхностное сопротивление изменяется пропорционально числу адсорбированных молекул (или концентрации газа в воздухе). Физическая адсорбция обусловлена главным образом силами Ван-дер-Ваальса и имеет обратимый характер, поскольку стойкие химические соединения не образуются [1]. Иными словами, после завершения цикла измерения концентрации конкретного газа датчик можно нагреть до температуры, превышающей энергию связи Ван-дер-Ваальса, и осуществить десорбцию молекул газа. В результате датчик будет готов к повторным измерениям. Металлооксидный чувствительный элемент датчика имеет мелкокристаллическую структуру. В процессах адсорбции и десорбции газов участвуют приповерхностные слои микрокристаллов, поэтому чем больше отношение поверхности кристаллов к их объему, тем эффективнее работа датчика, тем выше его чувствительность к газам.

Как известно, в полупроводнике все валентные электроны участвуют в образовании межатомных связей и свободных носителей заряда нет, а величина энергии связи определяет ширину запрещенной зоны  $\Delta E$  (для  $\text{SnO}_2$ :  $\Delta E = 3.5$  эВ; для  $\text{ZnO}$ :  $\Delta E = 3.1$  эВ и т.п.). Отклонение состава оксида от стехиометрического порождает примесные уровни в запрещенной зоне, например, для  $\text{SnO}_2$  недостаток (вакансии) кислорода создает донорный уровень, поэтому  $\text{SnO}_x$  ( $x < 2$ ) имеет электронный тип проводимости. Обрыв валентных связей на поверхности микрокристалла также образует поверхностные энергетические состояния в валентной зоне, взаимодействие которых с объемом полупроводника приводит к искривлению энергетических зон у поверхности кристалла (см. рис.1).

Рис.1. Энергетическая схема полупроводника *n*-типа. Вблизи поверхности происходит искривление энергетических зон, обусловленное адсорбцией акцепторных частиц на первоначально нейтральной поверхности.  $E_{\text{вак}}$  — уровень вакуума;  $E_c$  и  $E_{cs}$  — положение дна зоны проводимости относительно уровня вакуума в объеме и на поверхности полупроводника соответственно;  $E_f$  — уровень Ферми;  $E_v$  и  $E_{vs}$  — потолок валентной зоны в объеме и на поверхности соответственно;  $E_i$  — энергетическое положение поверхностного уровня, соответствующего хемосорбированным частицам;  $qU_s$  — величина поверхностного барьера, обусловленного зарядом поверхности;  $\chi$  — величина сродства к электрону поверхности полупроводника;  $q\phi$  — термодинамическая работа выхода электронов;  $L_D$  — дебаевский радиус экранирования.

Величина искривления зон характеризуется дебаевской длиной

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0 kT}{2e^2 n}},$$

которая соответствует глубине проникновения внешнего поля в объем полупроводника (рис.1).

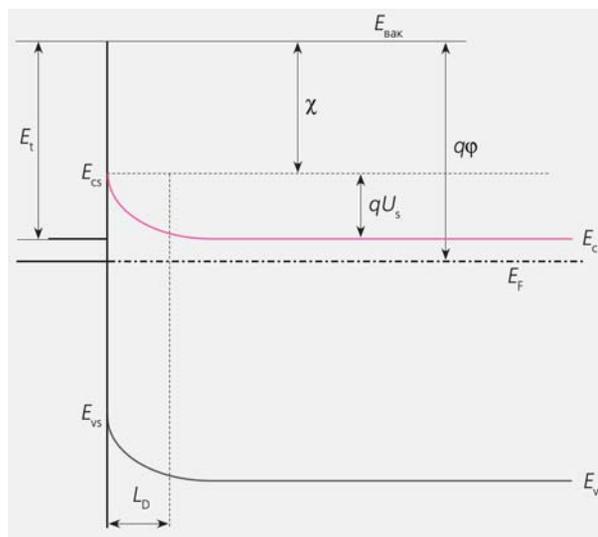
Газы обладают разным сродством к электрону и характеризуются либо окислительными ( $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{Cl}_2$  и др.), либо восстановительными ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  и др.) свойствами. Соответственно при взаимодействии газов с поверхностью полупроводника электроны либо захватываются из приповерхностной области (окислители — акцепторы), либо передаются полупроводнику (восстановители — доноры). Поэтому взаимодействие с «донорными» газами приводит к снижению барьера для дрейфа электронов в полупроводнике *n*-типа ( $U_{\text{кр}}$ ) и к возрастанию электропроводности всего образца (рис.2). При взаимодействии же такого полупроводника с газом-окислителем его электросопротивление, наоборот, возрастает по сравнению с исходным значением, которое имелось в отсутствие контролируемого газа.

Газовая чувствительность датчика  $S$  может быть определена как отношение сопротивления  $R_n$  сенсорного элемента на воздухе к сопротивлению  $R_r$  чувствительного слоя при наличии газа:

$$S = \frac{R_n}{R_r};$$

можно также представить чувствительность  $S'$  в относительных изменениях проводимости ( $G$ ) сенсорного слоя:

$$S' = \frac{G_r - G_n}{G_n} \cdot 100\% = (S - 1) \cdot 100\%.$$



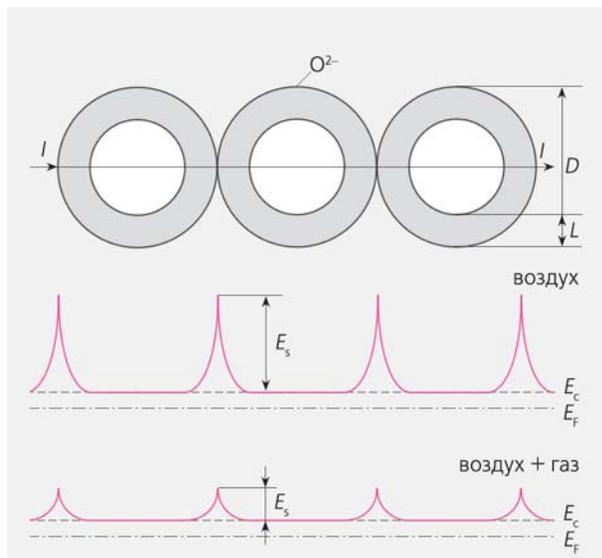


Рис.2. Конфигурация монокристаллов и профили зоны проводимости в направлении протекания тока  $I$ .  $D$  — диаметр зерна;  $L$  — ширина области пространственного заряда;  $E_s$  — высота потенциального барьера;  $E_c$  — дно зоны проводимости;  $E_f$  — уровень Ферми.

Современные полупроводниковые датчики газов способны обнаруживать посторонние газы в воздухе в объемных концентрациях на уровне единиц ppm и даже ppb. Единица ppm (1 молекула на миллион молекул воздуха) соответствует одной капле чернил в тонне воды, или  $10^{-4}\%$  об.; единица ppb (одна часть на миллиард) — капле чернил в 50 цистернах.

В соответствии с некоторыми современными представлениями о механизме обоняния животных, собака, как и человек, чувствует запах молекул летучих газов, которые растворяются в воде или в слизистой оболочке носа. Если же молекулы какого-либо газа не растворяются в слизистой оболочке носа, собака их не чувствует. А для полупроводникового газового сенсора условие растворимости газа в воде не обязательно, так как изменение электропроводности датчика происходит в результате взаимодействия газа с молекулами кислорода, а не с молекулами воды. Поэтому такой датчик чувствует некоторые газы, недоступные обонянию собаки.

Газовая чувствительность зависит от температуры сенсора, и для каждого газа существует своя характерная температура, при которой чувствительность к нему данного сенсора максимальна. Физическая адсорбция молекул газа на поверхности происходит в результате нескольких процессов: ионизации атомов, их взаимодействия с поверхностными состояниями, образованием слабых свя-

зей, разрывом слабых связей, изменением зарядового состояния вакансий и т.п. Причем некоторые процессы приводят к увеличению концентрации электронов в полупроводнике с ростом температуры, а другие процессы при нагревании сопровождаются захватом свободных носителей. Поэтому температурная зависимость газовой чувствительности имеет вид кривой с максимумом. Например, для  $\text{SnO}_2$  максимальная чувствительность к водороду достигается при  $320^\circ\text{C}$ , к спирту — при  $330^\circ\text{C}$ , к ацетону —  $360^\circ\text{C}$  и т.п. Таким образом, задавая определенный температурный режим работы датчика, можно «настроить» его на распознавание тех или иных газов. Селективность также можно повысить с помощью легирования сенсора различными примесями, чувствительными к конкретным газам (Pd для  $\text{H}_2$ , Cu для  $\text{SO}_2$  и т.п.).

## Как делаются датчики

Роль газочувствительных элементов могут играть керамические образцы, толсто пленочные ( $\sim 10\div 100$  мкм) слои, а также тонкие ( $< 1$  мкм) пленки. В настоящее время большинство датчиков газов делается по керамической технологии (компания «Figaro» Япония), в значительно меньших количествах выпускаются датчики с сенсорными слоями, изготовленные по толсто пленочной технологии, и только начинается производство датчиков с использованием микроэлектронной технологии.

Тонкопленочные сенсоры наиболее технологичны, и их можно изготавливать путем напыления тонких пленок оксидов металлов. Совместимость с современной микроэлектронной технологией будет обеспечена, если получать сенсорные слои разнообразными методами реактивного (в кислородсодержащей среде) распыления (магнетронного, ионно-лучевого, ионно-плазменного и др.) металлов. Такая методика получения сенсорных пленок может быть частью технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем. При этом все элементы датчика газов наносятся на окисленные кремниевые пластины приемами фотолитографии в виде кристаллов размером  $1\text{ мм}^2$ . Тогда из одной стандартной пластины кремния  $\varnothing 76\text{ мм}$  можно сделать более 5000 датчиков [3]. Тонкопленочные сенсоры характеризуются высокой воспроизводимостью параметров и быстродействием, превышающим быстродействие керамических и толсто пленочных сенсоров.

Исходя из принципа работы сенсорного слоя, в конструкцию датчика газов следует включить газочувствительный сенсорный элемент с контактами для измерения его сопротивления и нагревательный элемент для создания оптимальных условий измерения концентрации конкретного газа. Очень важны равномерное распределение темпе-

ратуры по поверхности сенсорного слоя и точность задания и поддержания температуры.

Возможный вариант конструкции датчика газов, изготовленный по микроэлектронной технологии, приведен на рис.3. Датчик размещается на пластине Si, покрытой изолирующим слоем SiO<sub>2</sub>. Все контакты изготавливаются из платины; конструкция нагревателя обеспечивает однородность температуры на сенсорных элементах в пределах ±2°C (при 250°C). Один из сенсорных элементов (SnO<sub>2</sub>) закрывается газонепроницаемым слоем (например, SiO<sub>2</sub>) и служит элементом сравнения — включается со вторым измерительным элементом в мостовую схему. В зависимости от вида легирующей примеси в сенсорном слое можно сделать датчики для контроля различных газов.

Для уменьшения мощности, потребляемой при нагревании чувствительного элемента, с помощью анизотропного травления кремния изготавливают тонкие (~10 мкм) мембраны, на которые напыляют газочувствительные слои. Таким образом удается снизить энергопотребление сенсора до десятков милливольт, что значительно продлевает срок службы датчика с автономным электропитанием.

Поскольку технологию изготовления сенсорных слоев можно совместить с микроэлектронной технологией, был разработан ряд химически чувствительных полупроводниковых приборов: диодов Шоттки с газочувствительными слоями, полевых транзисторов с палладиевым затвором и газочувствительным диэлектриком, а также дру-

гих комбинированных приборов. Комбинация сенсорных слоев с полупроводниковым транзистором позволяет усиливать сигнал о наличии газа непосредственно в самом датчике. К сожалению, результаты этих исследований еще не нашли широкого практического применения, но перспективы их несомненны.

Используя набор датчиков, чувствительных к различным газам, можно изготовить подобие искусственного носа, обнаруживающего целую гамму запахов. Уже есть образцы таких приборов, используемых для оценки качества пищевых продуктов по их запаху.

### На пути к созданию искусственного носа

Рассмотрим, как можно повысить газовую чувствительность датчиков, изготовленных на основе пленок SnO<sub>2</sub>. Обычно пленка SnO<sub>2</sub>, полученная методом, например, реактивного магнетронного напыления, при температуре подложки, близкой к комнатной, имеет аморфную структуру и толщину <1 мкм. Чтобы газ взаимодействовал с поверхностью SnO<sub>2</sub> более эффективно, надо увеличить отношение доли поверхности к объему кристалла — это будет достигнуто, если в пленке создать мелкокристаллическую структуру, стабильную до максимальных температур работы датчика (500°C). Для кристаллизации пленки проводят ее высокотемпературную термообработку в течение

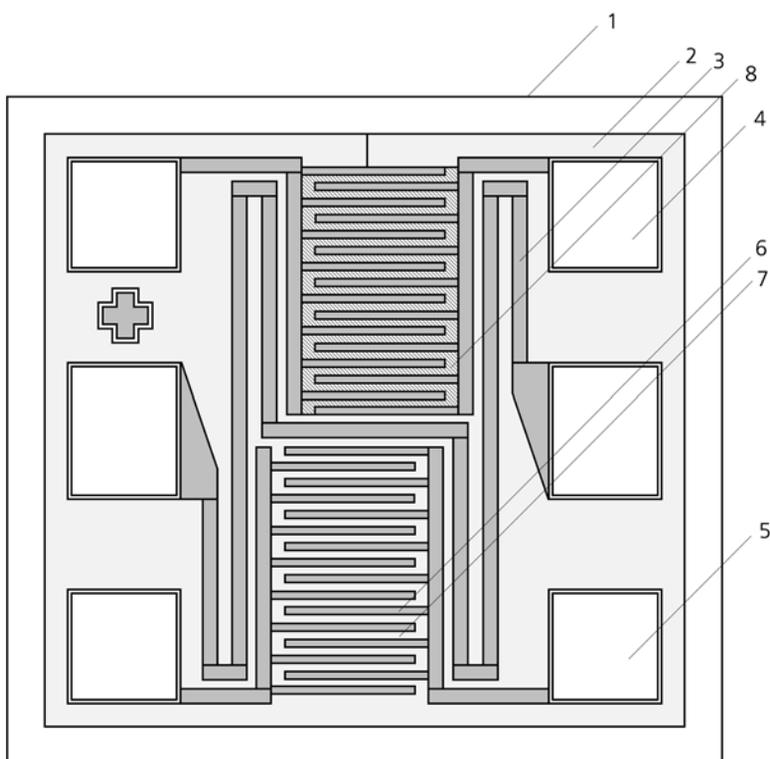


Рис.3. Топология кристалла датчика газов размером 1×1 мм<sup>2</sup>: 1 — пластина кремния, 2 — слой SiO<sub>2</sub>, 3 — тонкопленочный платиновый нагреватель, 4 и 5 — контактные площадки, 6 — токосъемные контакты датчика, 7 — слой SnO<sub>2</sub>, 8 — газонепроницаемый маскирующий слой.

нескольких часов. Завершение процесса кристаллизации можно установить по стабилизации электросопротивления пленки. Наличие мелких кристаллов и фазовый состав пленки контролируются с помощью рентгеновской или электронной дифракции. Электронный микроскоп одновременно позволяет определить средние размеры кристаллов (рис.4) при наблюдении пленки на просвет [4]. Так, нам удалось получить пленки SnO<sub>2</sub> со средним размером кристаллов ~20 нм. Хорошие результаты при создании мелкокристаллической структуры пленок SnO<sub>2</sub> дает их термообработка с помощью импульсного отжига интенсивным светом или отжиг импульсным лазером. Импульсный отжиг одновременно способствует как образованию большого числа мелких зародышей в пленке, так и образованию мелких (~10 нм) кристаллов и сокращает длительность термообработки.

Как же оценить эффективность взаимодействия газов с поверхностью кристаллов в пленке SnO<sub>2</sub>? Для этого следует сравнить величину области пространственного заряда в кристалле (или дебаевскую длину) с размерами кристалла. Чем больше доля пространственного заряда по отношению к размерам кристалла, тем заметнее будет изменяться поверхностное электросопротивление пленки при взаимодействии с газами. Для определения дебаевской длины экранирования необходимо знать концентрацию свободных носителей заряда в объеме пленки, которую можно определить из измерений эффекта Холла. В результате выполненных оценок размеров зерен кристаллов, концентрации свободных носителей заряда и расчетов дебаевской длины установлено, что

изготовленные нами пленки обладают наибольшей эффективностью, так как область пространственного заряда соизмерима с размерами кристаллических зерен в пленке [4].

Другой эффективный способ повышения газовой чувствительности пленок SnO<sub>2</sub> — легирование их разными примесями, особенно веществами, обладающими каталитическими свойствами. Легирование пленки катализаторами может не только улучшить газовую чувствительность пленки, но и обеспечить определенную селективность, т.е. избирательную чувствительность к конкретным газам. Введение примесей можно осуществлять разными методами, в том числе используя составную мишень при магнетронном напылении, когда в оловянную мишень делаются небольшие вставки из легирующего металла. Обычно добавки примеси составляют от десятых долей до нескольких процентов. Такое количество примеси в образцах можно обнаружить с помощью рентгеновского микроанализа.

Как же выбирают легирующие примеси? Например, известно, что медь при умеренных температурах образует химически нестойкие соединения с серой, которые при высоких температурах легко разлагаются. Поэтому добавки меди повышают чувствительность и селективность пленок SnO<sub>2</sub> к различным газам, таким как ядовитые H<sub>2</sub>S или SO<sub>2</sub>. Каталитические свойства палладия и платины по отношению к протеканию химических реакций с участием водорода известны давно, поэтому данные примеси также используются в датчиках, чувствительных к водороду. Целесообразность и эффективность других примесей не всегда можно заранее предсказать, и они часто определяются эмпирическим путем.

Рассмотрим некоторые наши результаты легирования пленок SnO<sub>2</sub> различными примесями. При использовании чистой, не легированной пленки SnO<sub>2</sub> для контроля 0.1% газа водорода в воздухе температура максимальной чувствительности составляет ~320°C. Легирование образцов примесью палладия повышает чувствительность пленки к водороду в 1.5 раза и снижает температуру максимальной чувствительности до 200°C (рис.5) из-за проявления каталитических свойств примеси палладия по отношению к реакции взаимодействия водорода с кислородными вакансиями SnO<sub>2</sub> [5]. Подобные же результаты были получены с использованием пленок SnO<sub>2</sub>, легированных платиной. Снижение температуры максимальной чувствительности в результате легирования пленок почти на 120°C означает, что потребляемую мощность датчика, изготовленного на основе легированных пленок, можно существенно снизить, а время работы автономного портативного измерителя концентрации взрывоопасного газа в воздухе значительно увеличить.

Однако самый многообещающий способ улучшить физические и метрологические характерис-

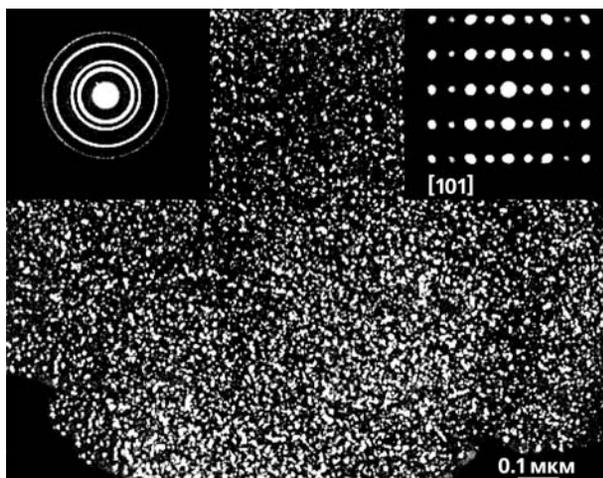
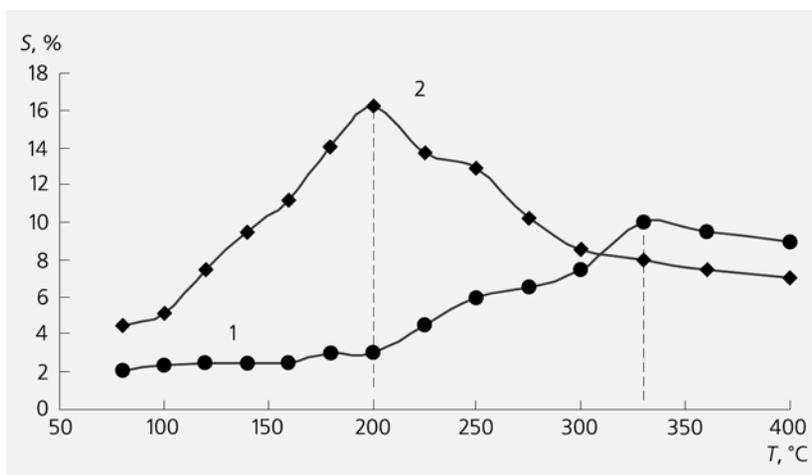


Рис.4. Электронно-микроскопическая фотография поверхности пленки SnO<sub>2</sub> (увел. 30 000). На вставках приведены картины электронной дифракции (от широкого пучка, левая вставка) и микродифракции на отдельном кристалле (когда электронный пучок очень узкий, правая вставка) пленки SnO<sub>2</sub>.

Рис.5. Температурная зависимость газовой чувствительности пленки SnO<sub>2</sub> к этанолу с концентрацией в воздухе ~1000 ppm: 1 — нелегированная пленка SnO<sub>2</sub>; 2 — пленка SnO<sub>2</sub>, легированная Pd до 3.0% об.



тики газочувствительных пленок — изготавливать многокомпонентные композиционные материалы на базе двух и даже трех оксидов соответствующих металлов, например, SnO<sub>2</sub> + SiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> + In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> + CuO, SnO<sub>2</sub> + TiO<sub>2</sub> и т.п. В зависимости от соотношения разных оксидов в матрице можно варьировать чувствительность и избирательность пленок к различным газам в широких пределах.

Очень интересные результаты дали композиционные пленки SnO<sub>2</sub> + SiO<sub>2</sub>, полученные одновременным распылением олова и кварца в кислородсодержащей атмосфере. Присутствие кварца в пленке создает условия, препятствующие росту зерен SnO<sub>2</sub> при термообработке. Таким образом были изготовлены пленки, размер зерен кристаллов в которых лежит в пределах 5+10 нм, т.е. эти материалы можно назвать нанокompозитами. На рис.6 приведено изображение поверхности, полученное с помощью атомно-силового микроскопа («Femtoscan-0,1») [6]. Оказалось, что в зависимости от содержания дополнительных компо-

нентов в пленке SnO<sub>2</sub> можно изменять величины и температуры максимальной газовой чувствительности, повышать избирательность пленок к различным газам.

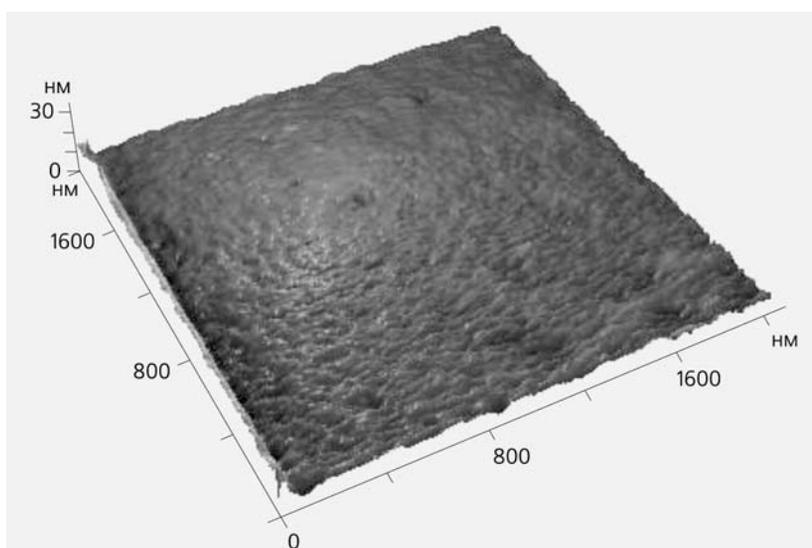
Итак, нам известны пути изготовления высокочувствительных и достаточно селективных датчиков газов, из которых при соответствующей электронной периферии можно изготовить устройство (газоанализатор) для контроля целой гаммы газов — аналог органа обоняния.

### Каковы перспективы?

Какие же основные научные и технические проблемы предстоит решать в ближайшее время?

Необходимо выяснить на атомно-ионном уровне механизмы газовой чувствительности оксидных пленок, чтобы научиться этими механизмами управлять. Разработка и изготовление миниатюрных газочувствительных устройств (инди-

Рис.6. Изображение поверхности композита SnO<sub>2</sub> + 3 ат. % Si в атомно-силовом микроскопе. Средний размер зерна поликристалла не превышает 10 нм.



катодов и спектрометров) невозможна без привлечения достижений современной микроэлектроники. Будут продолжены поиски новых многокомпонентных наноконпозиционных материалов с уникальными газочувствительными и селективными свойствами. Очень перспективна разработка новых конструкций и приборов, сочетающих газочувствительные функции с возможностями полупроводниковых приборов и интегральных схем. Только начаты исследования по использованию в газовой сенсорике квантово-размерных эффектов и новых технологий (микросистемная техника, молекулярно-лучевая эпитаксия, лазерная обработка, импульсные отжиги и т.п.). Крайне важно решить проблему экономичности, удобства и простоты использования как индивидуальных, так и групповых средств обнаружения вредных газов в воздухе.

А что могут предложить исследователи каждому конкретному человеку?

Во-первых, это надежные портативные индикаторы вредных газов, способствующие повышению безопасности человека в условиях вредных (химических, металлургических) и опасных (шахты, рудники) производств. Во-вторых, это средства контроля утечек бытового газа в жилищах (квартира, дача, автономные системы отопления), в общественных местах (школы, больницы, торговые центры и т.п.), в автомобилях на газовом топливе и др. Датчики угарного газа и дыма также могут использоваться как средства противопожарной сигнализации. В-третьих, это специальные датчики, позволяющие обнаруживать малые количества наркотических и лекарственных веществ, некоторые виды взрывчатых и отравляющих веществ, что особенно актуально в свете современной борьбы с терроризмом и наркоторговлей. Производство большого количества дешевых и экономичных датчиков газов может создать предпосылки для широкого экологического мониторинга атмосферы вблизи вредных производств и промышленных центров, в оживленных местах на улицах и в других местах. Развитие экологически чистой водородной энергетики ставит задачи контроля процессов производства, транспортировки, хранения и применения водорода. Эти задачи можно решить за счет использования портативных датчиков водорода. Многообещающи перспективы использования датчиков газов в медицине, например, для оценки степени алко-

гольной интоксикации, при наблюдении и лечении сахарного диабета, для диагностики некоторых других болезней по составу выдыхаемого воздуха и т.п.

Приведенные примеры показывают, что в результате фундаментальных исследований проблемы атомно-ионного взаимодействия газов с поверхностью твердого тела созданы предпосылки для разработки и широкого применения новых полупроводниковых приборов — датчиков газов. Использование датчиков газов в промышленности, в быту, в медицине может существенно улучшить качество жизни людей за счет повышения безопасности их существования, улучшения состояния окружающей среды, автоматизации производственных и бытовых процессов, более высокого уровня комфортности и т.п.

Пока успехи в создании искусственного носа или систем обоняния намного скромнее, чем в случаях искусственного глаза и искусственного уха. И тем не менее за последние 40 лет пройден путь от примитивных датчиков газов системы Тагучи до современных микроэлектронных устройств, изготовленных с использованием всех достижений микроэлектроники и микросистемной техники. Появилась возможность изготавливать сверхминиатюрные датчики газов и конструировать из них сенсорные устройства для одновременного контроля нескольких газов, что делает их похожими на человеческий нос. В перспективе — изготовление на одной пластине кремния мультисенсорных устройств и систем обработки сигналов для контроля ничтожных количеств примесей самых разных газов в воздухе.

Так что вскоре мы сможем предложить герою рассказа Гоголя, потерявшему свой нос, майору Ковалеву, искусственный нос, который будет различать ароматы цветов, трав, пищи и т.п., а также многих других веществ и газов, не имеющих запаха для нас. По спектру запахов и по чувствительности искусственный нос будет значительно превосходить собачий, и майор будет чутко улавливать и различать все это море разнообразных запахов, приятных и не очень. Интересно, обрадуется ли он этому подарку? В любом случае, нам электронный нос просто необходим. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 01-02-97402 и 03-02-96453.**

## Литература

1. *Волькенштейн Ф.Ф.* Электронная теория катализа в полупроводниках. М., 1960.
2. *Виглеб Г.* Датчики. М., 1989.
3. *Рембеза С.И., Просвирун Д.Б., Викин О.Г., Буслов В.А., Куликов Д.Ю.* // Сенсор. 2004. №1(10). С.20—28.
4. *Rembeza S.I., Svistova T.V., Borsikova O.I., Rembeza E.S.* // Phy. Stat. Sol.(a). 2000. V.179. P.147—152.
5. *Рембеза С.И., Свистова Т.В., Борсякова О.И., Рембеза Е.С.* // Сенсор. 2001. №2. С.39—42.



# Тантулокариды — микроскопические обитатели Белого моря

*Ученые нашли, что на блохе  
Живет блоху кусающая блошка.  
На блошке той — блошинка-крошка.  
В блошинку же вонзает зуб сердито  
Блошиночка, и так ad infinitum.*

Дж.Свифт

П.Н.Корнев, А.В.Чесунов

Слово «ракообразное» у большинства из нас ассоциируется в первую очередь с речными раками, креветками, крабами и еще, может быть, с дафниями и циклопами. Кажется, что ракообразные по строению очень мало походят на паразитических животных; тем не менее, многие из них — истинные паразиты, причем высокоспециализированные, обитающие как на поверхности (эктопаразиты), так и внутри (эндопаразиты) тела беспозвоночных и позвоночных животных.

Очень богат паразитическими формами таксон максиллопод, объединяющий веслоногих и усконогих рачков, карповых вшей и др. К ним же относятся и тантулокариды — специализированные паразиты ракообразных, которые отличаются от своих сородичей сложным жизненным циклом и рядом особенностей, в частности отсутствием линек и конечностей головного отдела.

Открыты тантулокариды были еще в 1903 г. (их обнаружили на кумовых рачках), и вначале из-за внешнего сходства их отнесли к равноногим ракам (Isopoda). Кроме того, среди изопод много паразитических организмов, часть жизненного цикла которых проходит на



**Алексей Валерьевич Чесунов**, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается изучением таксономии и биологии нематод, а также других групп морской интерстициальной фауны.

**Павел Николаевич Корнев**, аспирант той же кафедры. Область научных интересов — систематика, морфология, биология развития веслоногих рачков и тантулокарид.

других ракообразных, а часть — на рыбах. Найденных тантулокарид даже назвали — *Microdajus*, что в переводе с латыни означает — маленький *Dajus* (т.е. по имени одного из родов равноногих). Спустя десять лет на теле танаидового ракообразного обнаружили еще одну тан-

тулокариду, которую причислили к паразитическим веслоногим рачкам (Copepoda). Так продолжалось довольно долго: редкие находки тантулокарид определяли то как веслоногих, то как равноногих раков. Некоторое разнообразие внесли исследователи, предположившие,

что это животное не принадлежит ни к той, ни к другой группе, а, скорее всего, «неведома зверушка», возможно, корнеголовое ракообразное.

Лишь в 1983 г. таксономический статус тантулокарид был окончательно установлен: их выделили в новый класс\* ракообразных Tantulocarida [1]. В переводе с латинского языка *tantulus* означает маленький, и, действительно, это очень мелкие животные — размер самых крупных половозрелых самцов и самок составляет примерно полмиллиметра, а наиболее часто встречающихся так называемых расселительных стадий и вовсе около 100 мкм. Из многоклеточных животных меньше их, пожалуй, лишь нематоды да гастротрихи. Именно размеры, а также редкая встречаемость тантулокарид стали главным препятствием для их изучения тантулокарид.

Тантулокариды, как и их хозяева, относятся к группе мейобентоса (донных животных размером менее 1 мм). Для ловли таких организмов грунт, на котором они обитают, взмучивают в емкости с водой, затем процеживают сквозь тонкое сито, где и оседают нематоды, киноринхи, микроскопические многощетинковые черви, а также веслоногие, танаидовые и ракушково-рачки. Под микроскопом можно увидеть прикрепившихся к ним паразитов, но можно и не найти, поскольку тантулокариды обитают далеко не во всех районах Мирового океана и в основном на глубинах трех-четырёх тысяч метров, на мелководье же встречаются очень редко. Тем удивительнее было обнаружить их в Белом море — довольно мелководном водоеме (не более 330 м глубиной) с низкой соленостью и обедненной фауной. Однако на глуби-

нах более 100 м температура воды круглый год не поднимается выше 0°C (так называемая арктическая водная масса), и условия обитания там близки к центральной котловине Северного Ледовитого океана, где глубина составляет около четырех километров. Такой осколок глубоководья, расположенный на континентальном шельфе, назван псевдотантулокаридом. В 2002 г. при исследовании мейобентоса этого своеобразного биотопа и были найдены тантулокариды — впервые для Белого моря и вод России в целом.

### Жизненный цикл

Как высокоспециализированные паразиты, тантулокариды имеют сложный жизненный цикл, разделенный на гамогенетическую (с наличием полового размножения) и партеногенетическую части. Промежуточное звено между ними занимает личинка-тантулюс, которая способна развиваться как в самца, так и в самку, причем она может быть гамогенетической (размножающейся с оплодотворением) или даже партеногенети-

ческой (без оплодотворения). Тантулюс свободно плавает в придонном слое воды в поисках хозяина, прикрепляется к нему с помощью ротовой присоски и прокалывает кутикулу стилетом. Предполагают, что сразу после прикрепления у тантулюса разрушается (лизировается) мускулатура плавательных конечностей, поэтому открепиться и поменять хозяина он уже не может.

В партеногенетической части цикла, после прикрепления тантулюса к хозяину, грудной (торакс) и брюшной (абдомен) отделы тантулюса отпадают (на этой стадии развития паразит полностью лишен конечностей), остается лишь головной отдел (цефалон). Из его задней части развивается мешковидный вырост, чуть ли не в десятки раз превосходящий по размеру самого тантулюса. В дальнейшем внутри выроста формируется несколько десятков яйцеклеток, которые без оплодотворения развиваются в новых тантулюсов.

В гамогенетической части цикла внутри прикрепившегося тантулюса чаще всего развивается самец, реже — самка (во

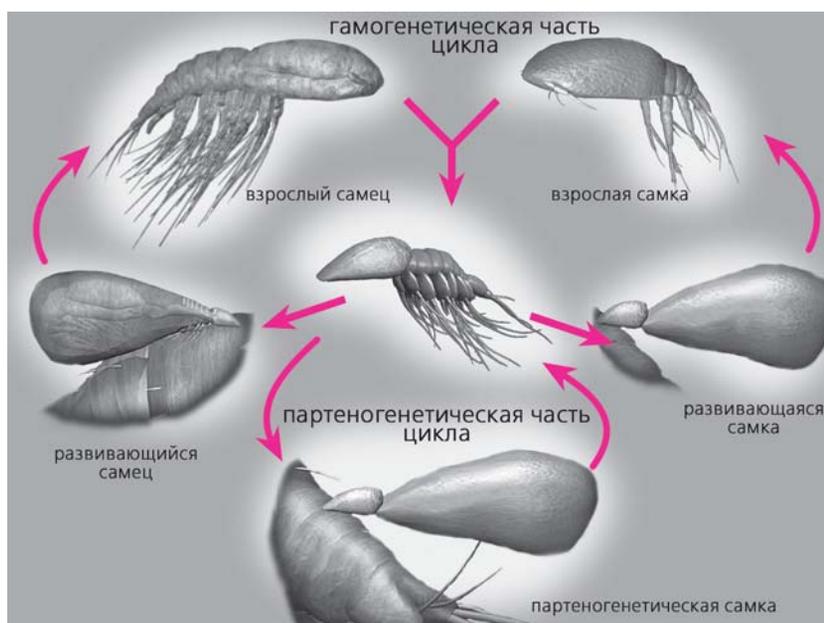


Схема жизненного цикла тантулокарид.

\* Сейчас многие исследователи рассматривают ракообразных как отдельный подтип или даже тип беспозвоночных, вопреки привычному для нас рангу класса; таким образом, тантулокариды стали классом внутри типа ракообразных.

всяком случае, за все время изучения тантулокаррид их обнаруживали лишь дважды). Если зарождается гамогенетическая самка, то она формируется внутри мешковидного выроста цефалона тантулюса, а торакс и abdomen, так же как и при партеногенезе, отпадают. Самец же растет внутри раздувающегося торакса тантулюса, при этом сохраняется не только грудной, но и брюшной его отделы. При выходе половозрелых особей оболочка тантулюса лопается, на поверхности кутикулы хозяина в течение некоторого времени сохраняется лишь хитиновый скелет головного отдела тантулюса.

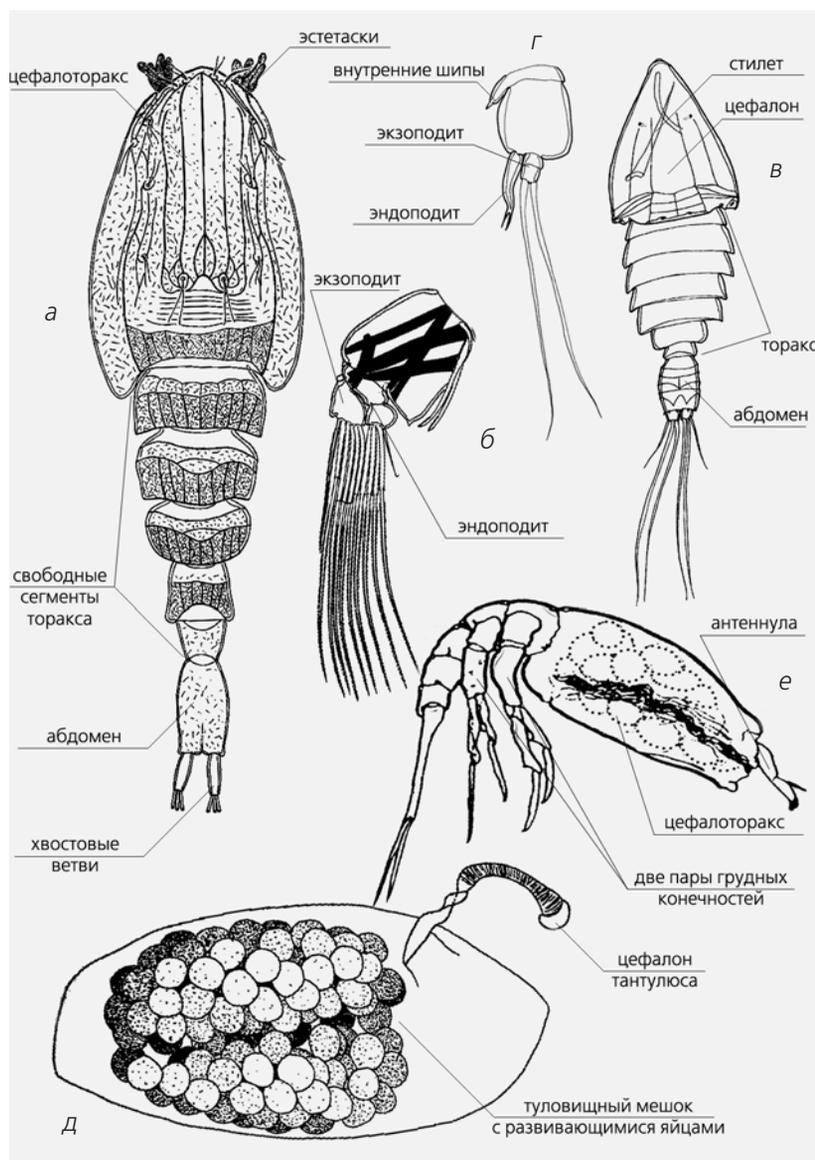
Взрослый самец становится больше личинки примерно в пять раз, а партеногенетическая самка — и того крупнее. Пока точно неизвестно, сколько проходит времени от момента прикрепления тантулюса к хозяину до завершения каждой части цикла; по-видимому, оно длится несколько недель или даже месяцев. Если это так, то у паразита ракообразных должны возникнуть сложности, связанные с возрастной линькой хозяина, поскольку видоизмененная личинка уже не может открепиться и поменять хозяина. Например, гарпактикоидные рачки в процессе развития периодически (с промежутками в три—пять дней) сбрасывают старый кутикулярный покров несколько раз, а вместе с ним и паразит неминуемо должен быть сброшенным. Казалось бы, у тантулокаррид есть только один выход — прикрепляться ко взрослым особям, которые больше не линяют, однако в жизни происходит все иначе. Выяснилось, что тантулокарриды паразитируют как раз преимущественно на неполовозрелых особях, которые должны сменить покров еще несколько раз. Чтобы этого не произошло, тантулокарриды, вероятно, выделяют в тело хозяина гормон, блокирующий линьку и последующее развитие хозяина.

## В поисках родственников

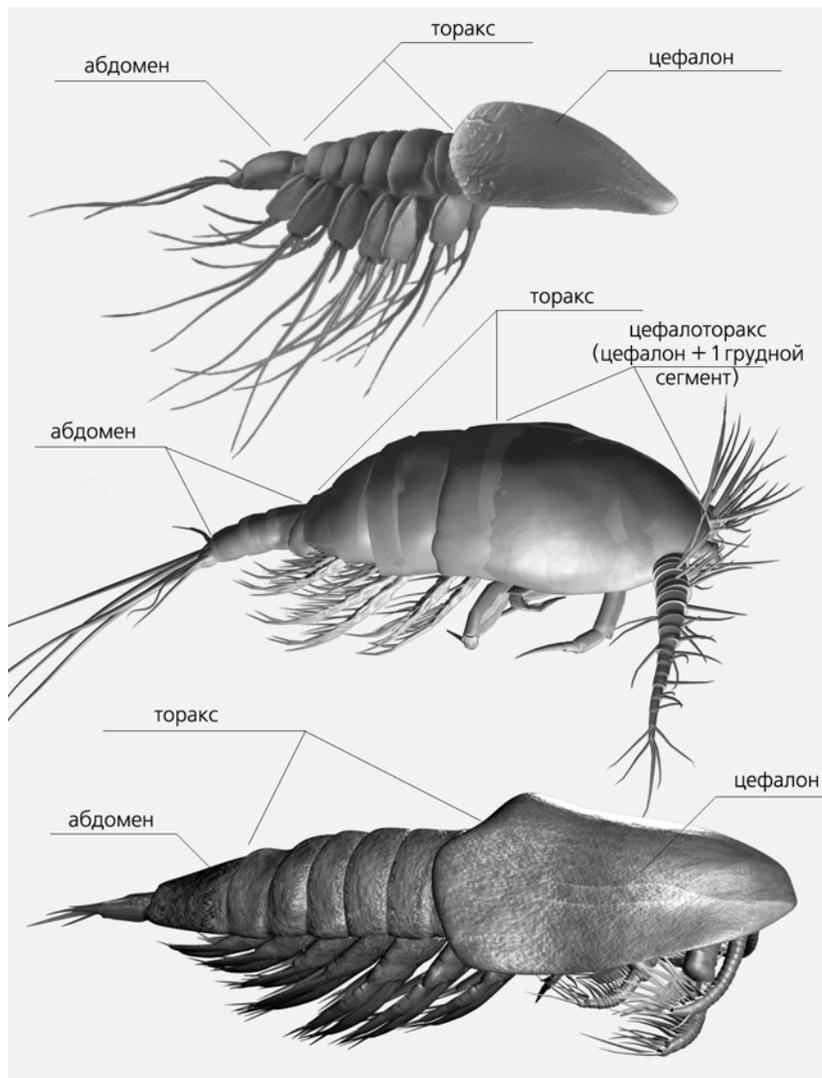
Несмотря на чрезвычайно мелкие размеры, тантулокарриды организованы весьма сложно. Каждая стадия их жизненного цикла отличается уникальными морфологическими и анатомическими особенностями.

Для личиночной стадии, тантулюса, характерна наиболее полная сегментация тела. Он

состоит из цефалона, семи торакальных сегментов (все они, за исключением последнего, несут конечности) и abdomen, который у некоторых видов имеет пятисегментное расчленение. Очень широкие конечности (плавательные ноги) заканчиваются небольшими ветвями со щетинками. Наличие внутренних выростов в основании конечностей тантулюса свидетельствует о близости тантуло-



Строение тантулокаррид: а — взрослый самец, вид со спинной стороны [2]; б — плавательная конечность самца [2]; в — тантулюс, вид со спинной стороны; г — плавательная конечность тантулюса; д — развитая партеногенетическая самка [3]; е — гамогенетическая самка, внутри цефалоторакса видны развивающиеся яйцеклетки [4].



Сравнение строения тантулюса тантулокарид (вверху), взрослого веслоногого рачка (в центре) и вымершей кембрийской формы *Bredocaris admirabilis* (внизу).

карид к примитивным ракообразным, которые используют фильтрационный способ питания (с помощью выростов пища подгоняется ко рту). У тантулокарид выросты служат для сочленения ног одной пары: чтобы при плавании их движения были согласованы, вырост на левой ноге специальными зазубренными шипами сцеплен с выростом на правой.

У взрослого самца первые два торакальных сегмента срастаются с цефалонем, образуя цефалоторакс (головогрудь),

а на последнем (седьмом) торакальном сегменте располагается непарный пенис. Конечности самца снабжены множеством щетинок, что, видимо, позволяет ему активно плавать в толще воды. Правда, свободно плавающие самцы до сих пор не были найдены, обнаружен лишь самец, еще связанный пуповиной с тантулюсом, но уже полностью сформированный и вышедший из лопнувшей шкурки.

Туловище гамогенетической самки состоит из лишнего конечностей (за исключением ан-

теннул) цефалоторакса (включающего цефалон и, вероятно, два последующих сегмента), двух сегментов с конечностями и трех — без них. Поскольку конечности самки лишены длинных плавательных щетинок, предполагается, что они необходимы ей лишь для удерживания самца при копуляции. Напомним, что нам за все время наблюдений удалось найти только двух гамогенетических самок, но и те были еще внутри тантулюса, а в свободном состоянии их вовсе никто еще не встречал. Учитывая, что самцы плавают, очевидно, очень недолго и не могут перемещаться на большие расстояния в поисках самок, трудно даже представить, как им удастся встретиться и спариться. Правда, на цефалоне гамогенетической самки есть антеннулы, на которых у ракообразных располагаются органы чувств, а на передней части цефалоторакса самца расположена группа эстетасков (органов обоняния), которые, вероятно, представляют собой рудименты антеннул. Однако ни второй пары антенн, ни мандибул и двух пар максилл (ротовых конечностей), которые есть у большинства ракообразных, у тантулокарид нет на всех стадиях жизненного цикла.

Тем не менее к ближайшим родственным группам тантулокарид можно отнести усоногих ракообразных и ископаемую кембрийскую форму *Bredocaris admirabilis*; более далеким — веслоногих рачков. Их тело имеет одинаковое расчленение на отделы, при этом усонogie рачки и *Bredocaris* также имеют непарный пенис на седьмом туловищном сегменте. Однако в полной мере сблизить эти группы ракообразных с тантулокаридами не позволяет отсутствие у них ротовых конечностей (мандибул, максилл). Вместо этого для питания у тантулюса развивается стилет, прокалывающий кутикулу хозяина, и воронковидный орган, погружающийся в тело хозяина, которым

тантулюс, очевидно, заглатывает гемолимфу. Самцы и гамогенетические самки, развивающиеся внутри тела тантулюса, соединены с его головной областью пуповиной; во взрослом свободном состоянии они не питаются вовсе.

Стоит отметить, что все сведения о морфологии и анатомии тантулокаррид получены исключительно с использованием световой и сканирующей электронной микроскопии. Основным же методом исследования животных подобного размера — трансмиссионная микроскопия — до сих пор не применялся, хотя такие данные представляли бы чрезвычайный интерес: помимо актуальных лишь для зоосистематиков вопросов гомологии отдельных образований (кутикулярных пор, стилета) существует также общебиологическая проблема построения тела столь мелких организмов. Дело в том, что эволюция, направленная на уменьшение размеров тела, происходит в основном не за счет уменьшения самих клеток (их размер уже ограничен величиной внутриклеточных структур), а за счет сокращения их числа. Какими же должны быть клетки у тантулокаррид, которые при довольно сложной организации и сами невелики (к примеру, размер всей конечности тантулюса сравним с размером эритроцита человека)?

### Верхушка айсберга?

В настоящее время описано 28 видов тантулокаррид. Все они чрезвычайно похожи по строению, отличаются лишь положением развивающегося самца, расчленением конечностей и абдомена, орнаментацией кутикулы. Похоже, описанные виды — лишь верхушка айсберга. Несмотря на редкость находок тантулокаррид, обнаружены они в самых разных морях от Антарктики до высокой Арктики и на хозяевах из различных

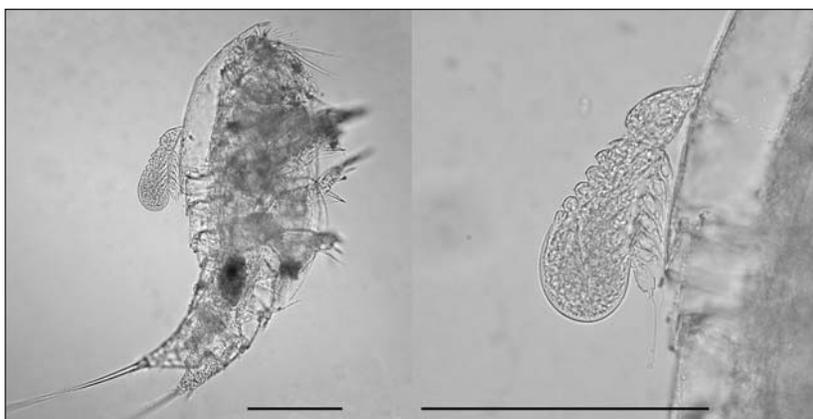


Карта распространения найденных к настоящему времени тантулокаррид. Цветом выделены места находок.

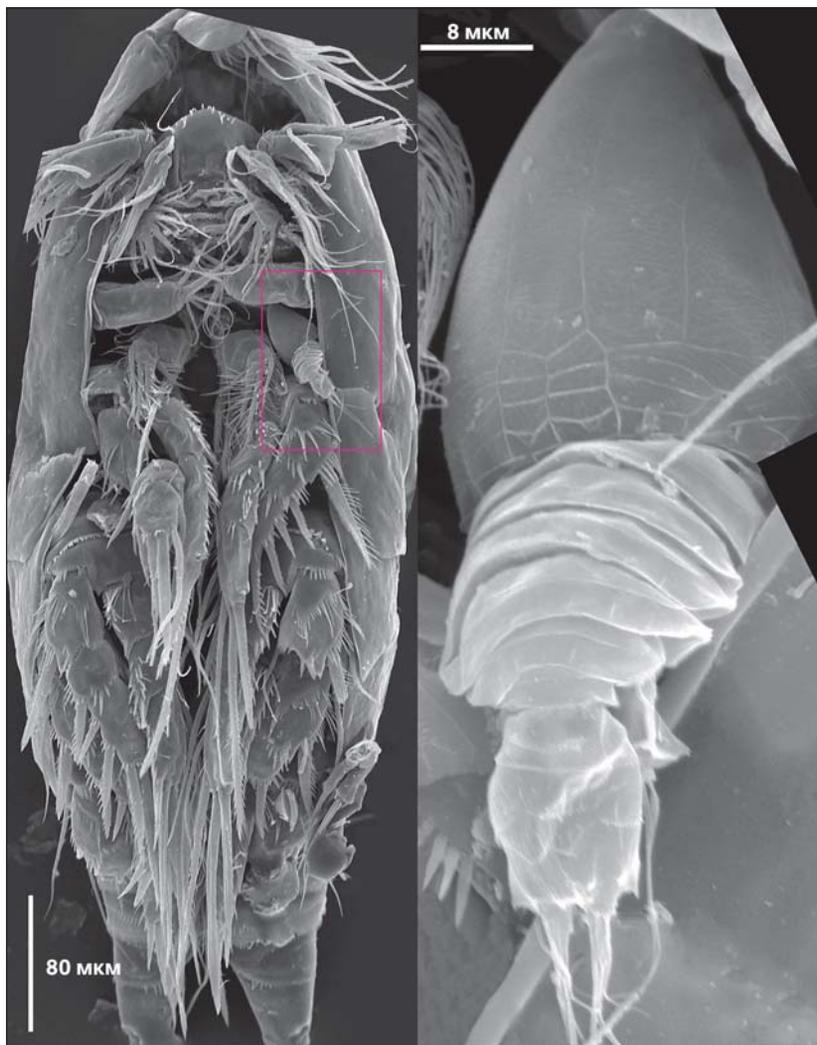
биотопов (от гидротермальных источников до интерстициали). Поэтому весьма вероятно, что тантулокаррид можно встретить практически везде, где вода имеет необходимую для них соленость.

Спектр хозяев тантулокаррид, напротив, довольно узок, и все они из числа ракообразных: гарпактикоидные копеподы — весьма многочисленная группа, включающая более трех тысяч видов самой разнообразной

морфологии, сифоностомовые копеподы — группа преимущественно паразитических рачков (в данном случае тантулокариды выступают в роли гиперпаразитов, т.е. паразитов паразитов), каланоидные и циклопоидные копеподы, ракушковые рачки (Ostracoda), танаидовые рачки (их еще называют клешненосными осликами), кумовые, равноногие (Isopoda) и разноногие (Amphipoda) ракообразные. Это все бентосные животные, т.е.



Микрофотографии тантулокаррид, найденных в Белом море: развивающийся внутри тантулюса самец, паразитирующий на веслоногом рачке (слева), и отдельно крупным планом. Размер масштабной линейки 150 мкм.



Микрофотографии веслоного рачка (слева), найденного на Белом море, с прикрепившимся тантулюсом (выделено цветной рамкой) и тантулюс крупным планом.

обитатели поверхности дна. Как правило, один вид тантулокариды специфичен для одного или нескольких близких видов хозяев, однако известно пока единственное исключение — тантулокарида, паразитирующая на копеподах, принадлежащих к трем подотрядам.

На одной особи хозяина, если это крупная танаида или изопода, может поселиться несколько десятков паразитов. Но даже к мелким копеподам умудряется прикрепиться десяток тантулюсов; конечно, не все из них потом разовьются во взрослых особей величиной чуть ли не с хозяина.

## Литература

1. Boxshall G.A., Lincoln R.J. // Journal of Crustacean Biology. 1983. №3. P.1—16.
2. Boxshall G.A., Huys R., Lincoln R.J. // Systematic Parasitology. 1989. №14. P.17—30.
3. Grygier M.J., Sieg J. // Journal of Natural History. 1988. №22. P.1495—1505.
4. Huys R. // Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli I: Marine Ecology. 1991. №12. P.1—34.
5. Корнев П.Н. // Зоология беспозвоночных. 2004. №1. С.73—78.

\* \* \*

Исследования беспозвоночных животных на Белом море ведутся более 120 лет. И как ни странно, именно в местообитаниях тантулокарид регулярно проводится сбор животных для практических занятий студентов на Беломорской биостанции им.Н.А.Перцова МГУ. Тем не менее, тантулокариды были найдены лишь недавно, причем оба вида, судя по всему, новые для науки, а один из них, вероятно, даже принадлежит к новому роду [5]. Оба вида обнаружены в пробах, взятых с глубин 30—100 м, в зонах, где вода даже летом не прогревается выше 0°C. Оба — высокоспециализированные паразиты (один вид предпочитает селиться исключительно на гарпактикоидных, другой — на танаидовых рачках). Как оказалось, тантулокариды на таких глубинах вполне обычные животные — зараженность тантулюсами ракообразных (численность которых весьма велика) составляет около 7%.

Интересно что, когда в 1898 г. решалась судьба биостанции на Соловецких о-вах, одним из оснований для ее закрытия было: «биологическая станция <...> уже исполнила свое назначение <...> в последнее время <...> не найдено ни одной новой разновидности уже известных видов». Можно надеяться, что и через 100 лет в Белом море неожиданные находки будут ждать своих исследователей. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 03-04-49152.**

# Крупнейший на Земле метановый водоем

А.Ю.Леин, М.В.Иванов

«Черное море — величайший сероводородный водоем на нашей планете» — дежурное клише, с которого начинаются многочисленные работы, посвященные этому морю. Справедливости ради следует отметить, что в последние годы словосочетание «сероводородный водоем» стало вытесняться другим, на наш взгляд более точным — «анаэробный водоем». Исследования последних 25 лет позволяют говорить о Черном море как о крупнейшем на Земле метановом водоеме.

Три важных открытия активизировали интерес к проблеме происхождения и круговорота черноморского метана. Во-первых, это обнаружение в 1989 г. на морском дне многочисленных струйных выделений метана, так называемых холодных сипов. Во-вторых, пару лет спустя было впервые доказано, что на выходах метановых струй в строго анаэробных условиях происходит активный процесс микробного окисления метана с образованием крупных карбонатных построек и мощных микробных матов [1]. И наконец, примерно в те же годы были открыты метановые потоки из глубоководных грязевых вулканов, а в осадках обнаружены крис-



*Алла Юльевна Леин, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН, участник многочисленных экспедиций на научно-исследовательских судах, неоднократно погружалась в подводных аппаратах «Мир». Круг научных интересов охватывает биогеохимические и геохимические исследования циклов углерода и серы.*



*Михаил Владимирович Иванов, академик, доктор биологических наук, заведующий отделом Института микробиологии им.С.Н.Виноградского РАН, около 20 лет возглавлял этот институт. Область научных интересов — микробная биогеохимия. Лауреат премии С.Н.Виноградского и премий правительства РФ в области науки и техники.*

таллогидраты —  $\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Вместе с тем и в осадках, и в водной толще были зафиксированы активные процессы микробной генерации и микробного окисления метана. Возникли вопросы: какой метан, биогенный или термогенный, преобладает в водной толще Черного моря и какая его часть мигрирует из донных отложений, а какая генерируется в водной массе?

Пятнадцать лет назад подобные вопросы в Черном море решались при исследовании цикла серы. Тогда были получены неопровержимые доказательства формирования основной части сероводорода микробным путем непосредственно в водной толще [2].

Наш основной инструмент для решения вопросов о происхождении метана — сопоставление данных по концентрации метана,

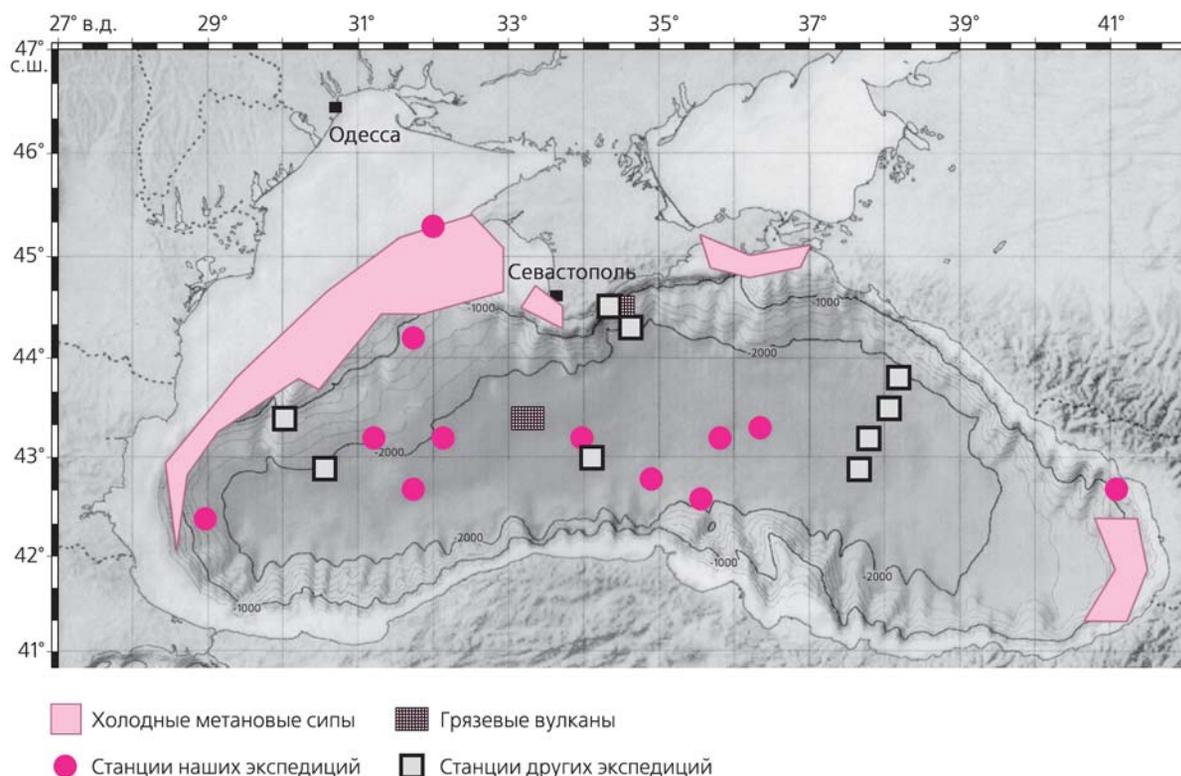


Рис. 1. Расположение станций отбора проб [1, 2] и контуры полей холодных метановых сипов [3] и грязевых вулканов [4] в Черном море.

скорости биогеохимических процессов метаногенеза, аэробного и анаэробного окисления метана с величинами фракционирования стабильных изотопов. В работе использованы результаты наших многолетних исследований (примерно на 20 станциях) и литературный материал (рис.1).

### Метан водной толщи и современных осадочных отложений

Первые данные по распределению концентрации метана были получены в глубоководной зоне [3]. Оказалось, что начиная примерно со 150 м — границы анаэробной (сероводородной) зоны — до глубины 500–600 м происходит линейный рост концентрации метана практически от 0 до 10–13 мкМ/л, а далее до дна она остается монотонной. Скорее всего, основная часть метана продуцируется микроорганизмами в донных осадках, откуда он и поступает в водную толщу.

Наши исследования распространения и геохимической активности микроорганизмов, участвующих в образовании и окислении метана, были начаты в 1980 г. и продолжались вплоть до 2003 г.

Типичные профили распределения концентрации метана и скорости его микробного образования и окисления показаны на рис.2. Как следует из приводимых данных, на станциях верхней части (до 600 м) континентального склона от верхней границы анаэробной зоны до дна происходит монотонное увеличение концентрации метана. На более глубоководных станциях западной части моря, на глубине 400–600 м, обнаруживается заметный пик концентраций, происхождение которого связано с поступлением метана из многочисленных холодных сипов. Кроме того, содержание метана повышается и в придонных водах. В то же время на многих глубоководных станциях содержание метана в донных осадках заметно ниже, чем в придонной воде [4].

На рис.2 также приведены графики распределения скоростей метаногенеза и анаэробного окисления метана, полученные с использованием  $^{14}\text{CO}_2$  и  $^{14}\text{CO}_3\text{COONa}$  для метаногенеза и  $^{14}\text{CH}_4$  для окисления метана. Анализ этих данных показывает, что в водной толще метаноокисление превышает процессы генерации метана. В целом, для всей анаэробной зоны (глубины более 200 м, площадь 306 км<sup>2</sup>) продукция метана составляет  $62.9 \cdot 10^{10}$  молей в год, а окисление метана —  $77.77 \cdot 10^{10}$  молей

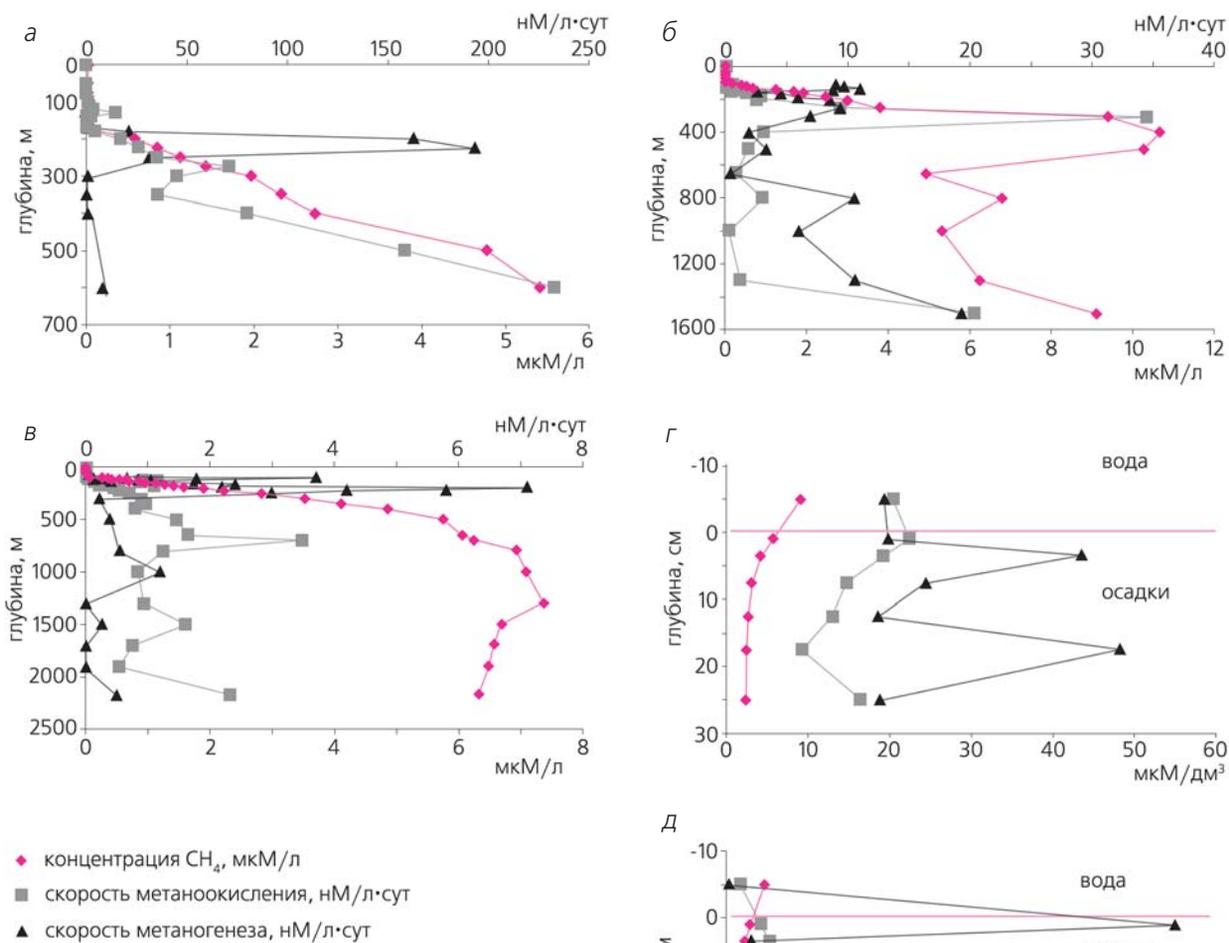
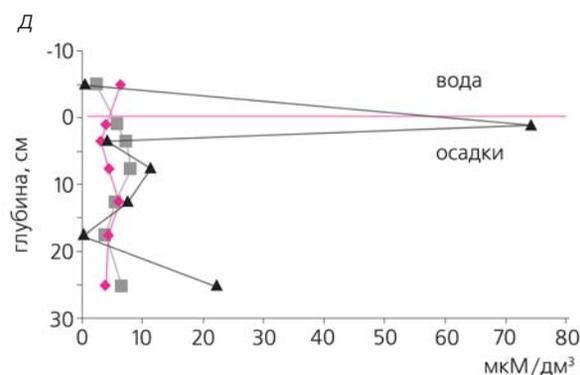


Рис.2. Типичные профили распределения концентрации метана (мкМ/л) и скоростей микробной генерации и микробного окисления метана (нМ/л·сут) в водной толще Черного моря на глубинах 600 м (а), 1500 м (б), 2200 м (в) и в верхних 25 см осадков (г, д).

Рис.3. Гистограмма изотопного состава метана из верхнеголоценовых осадков Черного моря. 1 — по [3], 2 — по [4], 3 — по [5].



в год. Соответствующие величины для позднеголоценовых осадков существенно ниже —  $27.6 \cdot 10^7$  и  $24.6 \cdot 10^7$  молей [5].

Микробный метаногенез в анаэробной водной толще обеспечивает более 80% содержащегося в воде метана, но не менее  $14.9 \cdot 10^{10}$  молей метана ежегодно поступают в водную толщу и из внешних источников — подводных грязевых вулканов и холодных метановых сипов.

Приведенные на рис.3 величины  $\delta^{13}\text{C}$  метана из верхних горизонтов и из донных осадков (с глубины 4.8–6.3 м от границы раздела вода—осадки) однозначно свидетельствуют о его биогенной природе. По результатам наших экспериментов с радиоактивно-мечеными субстратами, именно реакция восстановления  $\text{CO}_2$  водородом ответственна за образование более 90% метана в осадках и водной толще моря [5, 6].

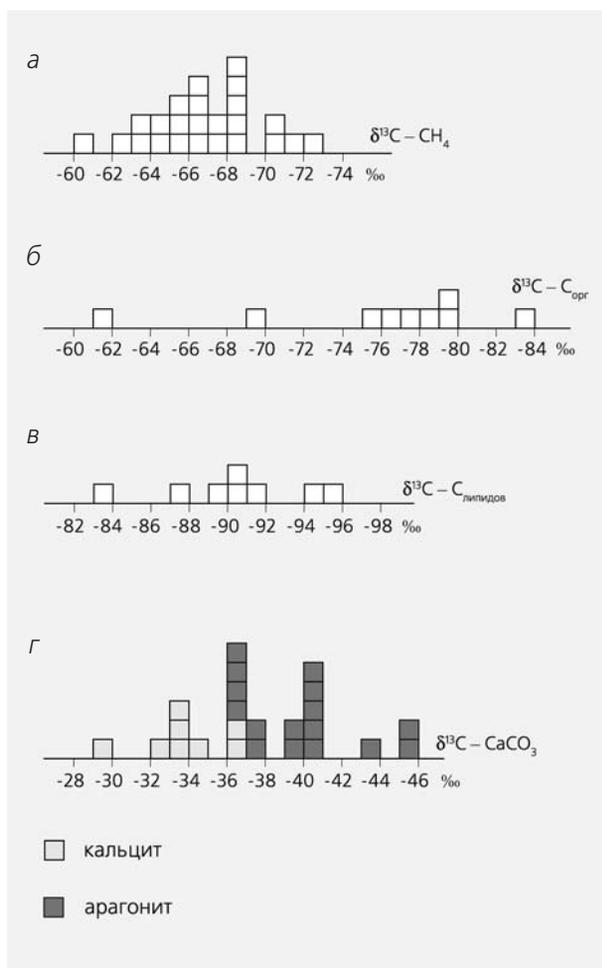


Рис.4. Гистограмма значений  $\delta^{13}\text{C}$  углерода метана холодных сипов (а), органического углерода микробных матов, покрывающих карбонатные постройки (б), органического углерода липидной фракции, выделенной из микробных матов (в) и углерода аутигенных карбонатов построек на дне (г) Черного моря.

## Метан холодных газовых струй

Второй мощный источник черноморского метана — холодные метановые струи (сипы). К настоящему времени они обнаружены практически по всей периферии Черного моря (рис.1) и на разных глубинах, вплоть до 2000 м. По расчетам, поток метана в атмосферу с акватории Черного моря составляет от 2 до  $10 \cdot 10^{10}$  молей в год [7].

Уже первые анализы изотопного состава метана ( $\delta^{13}\text{C} = -60\text{‰}$ ), выходящего в виде струй пузырьков из карбонатной постройки на глубине 226 м в Днепровском каньоне, поставили под сомнение гипотезу его термогенного происхождения [1].

Более детальные исследования изотопного состава метана сипов (рис.4) были проведены нами на образцах, отобранных с борта пилотируемого подводного аппарата «Jago» во время международной экспедиции по проекту GOSTDABS (руководитель проекта профессор W.Michaelis из Гамбургского университета) в июне—июле 2001 г. непосредственно из струй газа [8]. Близкие значения изотопного состава углерода метана холодных сипов Черного моря ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $-62.4$  до  $-68.3\text{‰}$ ) позднее были получены и немецкими участниками этого проекта [9]. По величинам  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta\text{D}$  все изученные пробы попадают в поле биогенного метана (табл.1), образовавшегося при микробиологическом восстановлении углекислоты водородом [10].

Еще одно важное доказательство биогенного генезиса метана холодных сипов Черного моря — крайне низкое содержание в газовом флюиде тяжелых гомологов метана (менее  $0.0\text{n}\%$ ).

Таким образом, биогенный генезис метана черноморских сипов доказывается тремя независимыми параметрами: изотопным составом углерода, изотопным составом водорода и концентрацией газообразных гомологов метана. Изучение профилей распределения метана по всему разрезу на глубине  $3.0\text{—}3.5$  м от поверхности дна показывает постоянный рост его концентрации вплоть

Таблица 1

Химический состав газов и изотопный состав метана холодных сипов Днепровского каньона

| №№ | Глубина, м | Состав газов, объемн. % |              |              |               | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰ (PDB*) | $\delta\text{D}$ , ‰ (SMOW*) |
|----|------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|----------------------------------|------------------------------|
|    |            | $\text{CH}_4$           | $\text{H}_2$ | $\text{N}_2$ | $\text{CO}_2$ |                                  |                              |
| 1  | 182        | 95.0                    | —            | —            | —             | -68.2                            | —                            |
| 2  | 225        | 99.0                    | 0.17         | 0.90         | 0.00          | -68.1                            | —                            |
| 3  | 324        | 95.1                    | 0.25         | 4.60         | 0.26          | -70.5                            | -144                         |
| 4  | 230        | 99.0                    | 0.02         | 0.90         | 0.80          | -64.0                            | -132                         |
| 5  | 111        | 99.1                    | 0.01         | 0.00         | 0.90          | -65.0                            | —                            |
| 6  | 371        | 94.9                    | 0.02         | 5.10         | 0.05          | -63.0                            | —                            |
| 7  | 226        | 99.6                    | 0.00         | 0.17         | 0.26          | -66.5                            | -201                         |
| 8  | 64         | 96.2                    | 0.01         | 3.60         | 0.10          | -65.0                            | —                            |
| 9  | 321        | 98.8                    | 0.02         | 1.10         | 1.10          | -68.5                            | -169                         |
| 10 | 230        | 96.8                    | 0.01         | 3.20         | 0.00          | -62.4                            | —                            |

\* Международные изотопные стандарты.

до величин 50–75 мМ/м поровой воды [11]. Наши данные по определению (с  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ ) скорости метаногенеза говорят о том, что микробный метаногенез происходит во всей толще голоценовых осадков как минимум до глубины 6.3 м от поверхности дна [3, 12].

Многие исследователи метановых сипов Черного моря связывают распределение активных полей с разрывными нарушениями, по которым идет дегазация мощной толщи осадочных пород. По этим же нарушениям происходит и выделение биогенного метана, в том числе и из сапропелевого горизонта, сильно обогащенного органическим углеродом (до 22%).

## Метан грязевых вулканов

Третий источник черноморского метана — грязевые вулканы и субмаринные скопления газидратов в отложениях нижней части континентального склона на глубинах 700–750 м и в глубоководной котловине. Поскольку грязевые вулканы локализованы в зонах тектонических нарушений, большинство исследователей полагало, что выделяющийся из них метан должен иметь термokatалитическое происхождение (термогенный метан).

Однако полученные к настоящему времени данные по изотопному составу метана, выделяющегося в составе флюида грязевых вулканов и из газидратов донных отложений, показывают, что проблема генезиса такого метана более сложная. Типичный для термokatалитического метана изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $-30.0$  до  $-50.0\%$ ) обнаружен только над крупными вулканами, локализованными в центральной части западной халистазы (глубоководной зоны). Метан же большинства грязевых вулканов, например в трогее Сорокина, и газидратов из осадков имеет легкий изотопный состав углерода, характерный для микробного метана, образующегося при восстановлении углекислоты автотрофными метаногенами.

Данные по содержанию газообразных гомологов метана неоднозначны: в газах центральной области моря их концентрация достигает нескольких процентов, что подтверждает термогенное происхождение основной части углеводородов, выделяющихся здесь. В большинстве же газов, отобранных в трогее Сорокина, содержание гомологов метана составляет существенно менее одного процента, хотя описаны случаи, когда пробы с биогенным метаном содержали и довольно высокие их количества.

Данные по изотопному и газовому составу флюидов грязевых вулканов пока немногочисленны, что, конечно, затрудняет их обсуждение. Не вызывает сомнения лишь тот факт, что грязевые вулканы «сидят» на тектонических нарушениях. Однако из этого не следует, что идущий по ним газ генерируется только на больших глуби-

нах и при высоких температурах. По разрывным нарушениям и другим газопроводящим каналам к поверхности может двигаться и метан смешанной природы, в том числе и биогенный. Последний образовывался как в прошлые геологические эпохи, в течение которых под Черным морем накопилась 12–15-километровая толща осадков, так образуется и в настоящее время в неконсолидированных богатых органическим веществом голоцен-плейстоценовых осадках.

## Метан водной толщи

Наименее детально исследован изотопный состав метана, растворенного в водной толще Черного моря. Немногочисленные данные, опубликованные в литературе, суммированы в табл.2. Сопоставление величин  $\delta^{13}\text{C}$  метана из проб, полученных при отборе газа из струй непосредственно в местах его выхода на поверхность на разных глубинах водной толщи, показало, что по пути движения газовых пузырьков к поверхности моря происходит небольшое утяжеление изотопного состава метана за счет избирательного растворения более легкого метана. В то же самое время растворенный метан заметно утяжелен по сравнению с пробами газа, отобранными из пузырьковых струй на тех же самых горизонтах водной толщи. Этот феномен объясняется активным процессом анаэробного окисления метана, происходящим в сероводородной зоне Черного моря.

Интенсивный процесс микробного окисления метана, сопровождающийся утяжелением изотопного состава остаточного метана (вплоть до  $\delta^{13}\text{C} = -19.0\%$ ), продолжается в хемоклине (пограничном слое между аэробной и анаэробной зонами). Однако выше хемоклина в кислородной зоне вновь появляется легкий метан ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $-40.0$  до  $-60.6\%$ ), который образуется в анаэробных микрориах (кишечник зоопланктона, пелеты и другие частички) за счет деятельности анаэробных метаногенов. Наши эксперименты с  $^{14}\text{CO}_2$  и  $^{14}\text{CH}_3\text{COONa}$  показали, что скорость метаногенеза (в расчете на литр воды) в кислородной зоне может достигать 170–180 нл  $\text{CH}_4$  в сутки, а превышение продукции микробного метана над его потреблением колеблется от 0.6 до 5.4 мл под квадратным метром в сутки в расчете на всю толщину кислородной зоны. Эти новые экспериментальные данные объясняют наличие пиков содержания метана в аэробной зоне, которое описывалось многими исследователями. Поскольку основная часть метана анаэробной зоны окисляется на контакте с кислородсодержащими водами, именно метан, образующийся при метаногенезе на частичках в аэробной зоне, и есть основной метан морского генезиса, поступающий в атмосферу.

К сожалению, изотопный состав растворенного метана анаэробной зоны центральной части

**Таблица 2**  
**Изотопный состав углерода черноморского метана**

| №№ | Описание образцов   | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰ | Литературный источник |
|----|---|---------------------------|-----------------------|
| 1  | Метан из верхнеголоценовых осадков  | -60.4 – -91.0             | [3–6]                 |
|    |   | -67.6                     |                       |
| 2  | Метан холодных сипов (растворенный)   | -62.0 – -72.0             | [10, 16]              |
|    |   | -65.8                     |                       |
| 3  | Метан газовых струй (пузырьковый)   | -58.5 – -68.4             | [16]                  |
|    |   | -64.5                     |                       |
| 4  | Растворенный метан из анаэробной водной толщи                                     | -50.8 – -58.0             | [16]                  |
|    |   | -55.4                     |                       |
| 5  | Растворенный метан из водной толщи в зоне хемоклина                               | -19.0 – -48.5             | [16, 17]              |
|    |   | -35.2                     |                       |
| 6  | Растворенный метан из кислородной зоны в одной толщ                               | -40.0 – -66.6             | [16, 17]              |
|    |   | -54.3                     |                       |
| 7  | Растворенный термокаталитический метан из анаэробной зоны над грязевыми вулканами | -43.0 – -47.5             | [16]                  |
|    |   | -45.7                     |                       |
| 8  | Метан грязевых вулканов   | -30.0 – -55.0             | [13, 14]              |

В числителе – пределы значений  $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ , в знаменателе – средние величины.

Черного моря охарактеризован значительно менее ( $\delta^{13}\text{C} = -55.4\text{‰}$ ), чем Днепровского каньона. Тяжелый метан ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{средн.}} = -45.7\text{‰}$ ) обнаружен в водной толще на глубинах от 900 до 2070 м, в зоне грязевых вулканов центральной части западной халистазы.

Экспериментально определив общее количество продуцируемого в водной толще микробного метана —  $M_{\text{био}}$  ( $62.9 \cdot 10^{10}$  М/год) и общее количество окисляемого метана —  $M_{\text{ок}}$  ( $77.7 \cdot 10^{10}$  М/год), мы получили суммарную величину потоков из сипов и грязевых вулканов ( $M_{\text{сип}} + M_{\text{волк.}} = 14.8 \cdot 10^{10}$  М/год). Величины  $\delta^{13}\text{C}$  метана внешних источников также известны:  $\delta^{13}\text{C}$  метана холодных сипов  $\delta^{13}\text{C}_{\text{сип}} = -65.8$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  термогенного метана  $\delta^{13}\text{C}_{\text{волк.}} = -40.0\text{‰}$  (табл.3). Величина  $\delta^{13}\text{C}$  биогенного метана составляет  $-67.6\text{‰}$ , а расчетная величина  $\delta^{13}\text{C}$  суммарного растворенного метана  $\delta^{13}\text{C}_{\text{tot}} = -64.5\text{‰}$  (табл.3). За основу расчета взята измеренная величина  $\delta^{13}\text{C}$  растворенного метана ( $-55.4\text{‰}$ ), которая увели-

чена на  $-9.1\text{‰}$  (на разницу между пузырьковым и растворенным метаном, возникающую в процессе анаэробного окисления метана).

Располагая всеми этими данными, по уравнению материально-изотопного баланса можно рассчитать суммарную величину  $\delta^{13}\text{C}$  метана, поступающего из сипов и грязевых вулканов:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{сип+волк.}} = \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{био}} \cdot M_{\text{био}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{tot}} \cdot M_{\text{tot.}}}{M_{\text{сип+волк.}}} = -51.3\text{‰}$$

Теперь можно рассчитать и отдельно количество метана, поступающего из вулканов ( $M_{\text{волк.}}$ ) и из сипов ( $M_{\text{сип}}$ ), в сумме составляющее  $14.8 \cdot 10^{10}$  молей в год

$$M_{\text{волк.}} = \frac{M_{\text{сип+волк.}} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{сип}} - M_{\text{сип+волк.}} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{сип+волк.}}}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{волк.}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{сип}})} = 7.8 \text{ моль/год.}$$

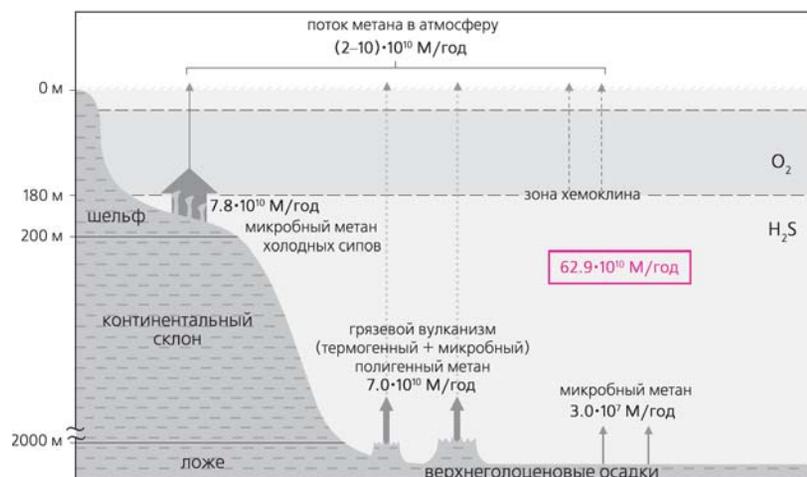
Таким образом, ежегодное поступление метана из внешних источников (грязевых вулканов и хо-

**Таблица 3**  
**Изотопный состав углерода метана из грязевых вулканов и газгидратов**

| №№ | Описание образцов  | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰      | Литературный источник              |
|----|--|--------------------------------|------------------------------------|
| 1  | Крупные постройки грязевых вулканов в центральной части Черного моря и в трое Сорокина | -30.0 – -50.0<br>-40.0 – -42.0 | [13, 14]                           |
| 2  | Мелкие грязевые вулканы из трога Сорокина  | -55.0 – -75.0                  | [13]                               |
| 3  | Газгидраты и вмещающие осадки  | -61.0 – -65.0                  | [13]                               |
| 4  | Газгидраты из Двуреченского грязевого вулкана*   | -62.0 – -66.0                  | [15]                               |
| 5  | Газ из осадков на вулканических структурах и из газгидратов                            | -61.8 – -63.5                  | [14]                               |
| 6  | Газ из осадков на вулканических структурах   | -63.9                          | Наши данные из Крымской экспедиции |

Значения  $\delta\text{D}$  метана этих образцов находятся в пределах от  $-185$  до  $-209\text{‰}$  (SMOW).

Рис.5. Баланс метана в Черном море. Цветом показана ежегодная микробная продукция  $\text{CH}_4$  в водной толще.



лодных сипов) приблизительно одинаково —  $7.8 \cdot 10^{10}$  и  $7.0 \cdot 10^{10}$  молей в год.

В местах выхода метана из холодных сипов и грязевых вулканов происходит крупномасштабный процесс анаэробного окисления метана, сопровождающийся накоплением изотопно-легкого органического вещества бактериальных матов и аутигенных (образованных на месте) карбонатных минералов [18]. Уже первые анализы, выполненные нами в 1989 г., показали, что арагонит карбонатных построек имеет величины  $\delta^{13}\text{C}$  до  $-38\text{‰}$ , а органическое вещество мата, покрывающего постройку, —  $-82.5\text{‰}$ .

Результаты более детального изучения изотопного состава органического вещества матов, выделенной липидной фракции, а также арагонита карбонатной постройки и кальцита плиты, на которой находится эта постройка, приведены на рис.4. Некоторое обеднение изотопного состава органического углерода изотопом  $^{13}\text{C}$  по сравнению с метаном — результат фракционирования изотопов углерода при синтезе микробной биомассы. Еще более обеднена изотопом  $^{13}\text{C}$  липидная фракция. В образовании карбонатных минералов наряду с изотопно-легкой углекислотой, получающейся при окислении метана, принимает участие и минеральный углерод, растворенный в морской воде.

\* \* \*

Результаты изучения геохимической активности микроорганизмов, участвующих в круговороте метана в Черном море, и данные по его изотопному составу позволяют утверждать, что око-

ло 80% метана, растворенного в водной толще, образуется за счет активности метаногенов. На потоки метана из холодных сипов и грязевых вулканов приходится по 10%. Метан из донных осадков не играет существенной роли в метановом балансе.

В водной толще, донных осадках и на выходах метана из холодных сипов и грязевых вулканов наблюдается крупномасштабный процесс анаэробного окисления метана, сопровождающийся накоплением изотопно-легких карбонатных минералов и экстремально-легкой биомассы микробных матов.

В анаэробных микроразонах взвешенного материала даже в аэробной водной толще происходит автотрофный метаногенез с образованием изотопно-легкого метана. Часть его мигрирует из водной толщи Черного моря в атмосферу.

Использованный нами биогеохимический подход к изучению всех источников этого газа в водоеме дал возможность создать первую количественную модель метана в Черном море. Как видно на рис.5, основной поток метана в атмосферу поступает из холодных метановых сипов (с глубин 20—360 м) и из водной толщи, где он образуется в анаэробных микронизах и при метаболизме планктонных организмов. Грязевые вулканы и глубоководные осадки же поставляют метан в придонные воды. ■

**Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-04-49926**

## Литература

1. Иванов М.В., Поликарпов Г.Г., Леин А.Ю. и др. // Докл. АН СССР. 1991. Т.320. №5. С.1235—1240.
2. Леин А.Ю., Иванов М.В., Вайнштейн М.Б. // Микробиология. 1990. Т.59. №4. С.656—665.
3. Hunt Y.M. Hydrocarbon geochemistry of the Black Sea // The Black Sea — geology, chemistry and biology / Eds E.T.Degens, D.A.Ross. Amer. Ass. Petrol. Geology. Tulsa, 1974. V.26. P.499—504.
4. Hunt Y.M., Whelan Y.K. Dissolve gases in the Black Sea sediments // Init. Rept. Deep Sea Drilling Project. 1978. V.42. P.661—665.

5. *Ivanov M.V., Rusanov I.I., Lein A.Yu. et al.* Biogeochemistry of methane cycle in the anaerobic zone of the Black sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4—8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.42—43.
6. *Ivanov M.V., Pimenov N.V., Rusanov I.I., Lein A.Yu.* // Estuarine coastal and shelf Science. 2002. V.54. P.589—599.
7. *Dimitrov L.* // Continental shelf res. 2002. V.22. P.2429—2442.
8. *Lein A.Yu., Pimenov N.V., Ivanov M.V.* The isotopic composition of methane and products of its anaerobic microbial oxidation in the Black sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4—8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.53—54.
9. *Pape T., Seifert R., Blumenberg M. et al.* Results of GHOSTDABS project, topik Biogeochemistry // Methane seepage, mud volcanoes and hydrates in the Black sea. Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, 2004.
10. *Леин А.Ю., акад. Иванов М.В., Пименов Н.В.* // Докл. АН. 2002. Т.387. №2. С.242—244.
11. *Jorgensen B.B., Weber A., Zopfi J.* Sulfate reduction and anaerobic methane oxidation in Black sea sediments // Deep Sea Res. 2001. P.1. V.48. P.2097—2120.
12. *Иванов М.В., Вайнштейн М.В., Гальченко М.Ф. и др.* Распределение и геохимическая активность бактерий в осадках // Изучение генезиса нефти и газа в Болгарском секторе Черного моря. София, 1984. С.150—181.
13. *Ivanov M.K., Stadnitskaya A.* Methane-seeps related processes in the Black Sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4—8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.39—41.
14. *Vyakov Y.A., Kruglyakov R.P., Kruglyakova M.V.* Gas hydrates of the Black Sea sediment section: genesis, geophysical methods for their discovery and mapping // Gas in marine sediments. Abstract book 7-th International conference. Baku, 2002. P.24—26.
15. *Blinova V.N., Ivanov M.V., Bobrman G.* Study of hydrocarbon gases in deposits from mud volcanoes in Sorokin Trench // Methane seepage, mud volcanoes and hydrates in the Black sea. Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, 2004.
16. *Seifert R.* Preliminary results of GOSTDABS project // Methane seepage, mud volcanoes and hydrates in the Black sea. Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, 2004.
17. *Shubert K.J., Kaizer E.J., Knypers M., Webrly B.* Methane formation and oxidation in the Black Sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4—8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.82—83.
18. *Леин А.Ю.* // Литология и полезн. ископ. 2004. №1. С.3—35.

Муниципалитет Сан-Франциско (США) приступил недавно к разработке проекта приливной электростанции, призванной разрешить возрастающие энергетические проблемы этого мегаполиса. Построят сооружение в горловине бухты Сан-Франциско (здесь ежегодно перемещается 1.5 трлн м<sup>3</sup> океанской воды), турбины установят в кессонах. Проект учтет опыт эксплуатации французской приливной электростанции Ранс (Бретань). В ближайшем будущем начнутся работы по оценке воздействия планируемого энергетического узла на местную экосистему.

Sciences et Avenir. 2004. №689. P.34 (Франция).

Согласно переписи, проведенной за четыре года Всемирным фондом дикой природы, в Китае

сейчас обитает 1600 больших панд, что на 50% больше, чем в 1988 г. Естественно, панды не могли так быстро размножиться. Столь оптимистичные итоги переписи — в основном результат усовершенствования методики подсчета животных. В то же время перепись подтвердила существовавшее мнение о раздробленности ареала большой панды, которая остается в списке видов, находящихся под угрозой исчезновения.

Science et Vie. 2004. №1043. P.23 (Франция).

Широкое генетическое исследование на воробьиных — одной из самых многочисленных групп птиц в мире — показало, что наиболее древние в генетическом отношении виды обитают в Австралии, Новой Зеландии и Южной Америке.

Их общий предок существовал там в конце мелового периода, когда эти материк составляли единое целое, а затем в течение 40 млн лет воробьиные заселили Евразию, Африку и Северную Америку.

Sciences et Avenir. 2004. №691. P.28 (Франция).

В лунном метеорите Dhofar 280, который был найден в Омане в 2000 г., обнаружена новая минеральная фаза, Fe<sub>2</sub>Si, образование которой связано с микрометеоритной бомбардировкой поверхности спутника Земли. Новый минерал назвали гапкеитом, в честь Б.Гапке (В.Нарке; Питтсбургский университет, США), который еще 30 лет назад предсказал его существование.

Sciences et Avenir. 2004. №688. P.28 (Франция).

# «Медный изумруд» Казахских степей

## История минерала и месторождения

Е.Ф.Бурштейн

Источником ярко-зеленых сверкающих кристаллов диоптаза  $\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , украшающих витрины музеев и коллекции любителей камня, в течение двух веков служило месторождение Алтынтобе\* (Золотой холм) в Центральном Казахстане.

История эта началась в конце XVIII в. Хотя казахи Среднего Жуза (Средней Орды, как писали в России) еще с 1740-х годов считались подданными России, государственная граница вплоть до 1860-х годов проходила по линиям крепостей, окружавшим Казахские степи. Лишь торговые караваны, хозяева которых наладили отношения с султанами и старейшинами родов, рисковали пересекать степи по пути в Бухару, Коканд или Кашгар.

Приблизительно в 1781 г. уроженец Ташкента и бухарский подданный торговец Ашир Зарипов, осевший в крепости Семипалатной на Иртышской линии, «человек бывалый и знающий степь», встретился в форпосте Коряковском с бригадиром\*\* Бентамом, англичанином

\* Принятое в последнее время русскоязычное написание топонима; раньше писали «Алтын-Тюбе».

\*\* Воинское звание, промежуточное между полковником и генерал-майором.



**Ефим Фалькович Бурштейн**, кандидат геолого-минералогических наук. С 1959 г. работает в экспедициях кафедры исторической и региональной геологии геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова — Казахстанской и Уральской (с 1994 г.). Область научных интересов — геология рудных месторождений Казахстана, региональная металлогения, история геолого-географических исследований Южной Сибири и Казахских степей XVIII—XIX вв. Лауреат Ленинской премии (1959).

на русской службе, и продал ему образцы медных руд и ярко-зеленые кристаллы, привезенные из древних копей у отдаленной речки Алтынсу (Золотая речка), которые посчитал за изумруды.

С.Бентам (1757—1831), младший брат знаменитого английского правоведа и философа Дж. Бентама, также был незаурядной личностью. Морской офицер и инженер-кораблестроитель, механик и изобретатель, он увлекался горным делом и социальными идеями французских просветителей. Бентам в сопровождении Ашира, двух казахов-проводников и 20 казаков Сибирского линейного войска, проехав 300 верст, добрался до

Алтынсу\*\*\*. Однако едва заложил шурф, как один из проводников исчез, а на другой день на окрестных сопках показались сотни вооруженных всадников, заставившие отряд повернуть обратно. Не удалось Бентаму выполнить и секретное поручение светлейшего князя Г.А.Потемкина: проникнув под благовидным предлогом в земли Средней Орды, «сочинить карту, сколь возможно исправную». Образцы зеленого минерала Бентам привез в Петербург.

\*\*\* Поездка Бентама по местам добычи руд и переработки металлов в России, включая Сибирь, началась в 1780 г. и завершилась докладом императрице в 1782 г.

В 1786 г. управляющий Локтевским металлургическим заводом на Алтае В.С.Чулков получил через сотника Д.Телятников образец, «составленный из изумрудов с их породой», из того же Алтынтабе. (Казаки, сопровождавшие Бентама, видимо, не потратили даром время пребывания на месторождении.) Образец был передан Чулкову не случайно: в горы Алтая и Кузнецкого Алатау направили экспедицию, нацеленную на поиски не только руд, но также цветных камней и самоцветов. Чулкову же было приказано переоборудовать завод в шлифовальную фабрику.

Между тем зеленые кристаллы представили Екатерине II. Предполагаемую разновидность изумруда стали именовать в честь бухарского купца аширитом, и началась европейская глава истории минерала, соавторами которой оказался целый букет членов Петербургской академии наук. Поскольку значительная часть кристаллов досталась окружению императрицы, а ученым — небольшие образцы, они «...дорожили оными, как скупец золотом или египтянин мумиею, едва осмеливаясь касаться к ним и пальцами: кольми паче подвергать резцу, а еще менее химическому испытанию» [1].

Тем не менее, уже в 1788 г. в немецком журнале Л.Креля «*Chemische Annalen*» появляются сообщения И.Ф.Германа [2]. Он описал другу изумрудов на кварцевом основании и сообщил, что они залегают в граните или гнейсе. Тогда же и И.И.Фербер опубликовал у Креля заметку о «восточном изумруде». П.С.Паллас в статье 1793 г. на основании осмотра образцов со свойственной ему тщательностью описал форму и качество кристаллов, отметил, что минерал похож на изумруд только видом и цветом, но не кристаллической формой. Гора, в которой он найден, судя по образцам, сложена мергельными флюцковыми (слоистыми) породами,

и кристаллы сидят на мергельном известняке [3]. Это было уже близко к истине.

Тем временем Чулкова, которому спустившиеся с гор изыскатели привезли образцы яшм, порфиоров, кварцитов и других непрозрачных (цветных) камней, пригодных для шлифовки, весьма беспокоила редкость на Алтае и недостаточно высокое качество прозрачных минералов (самоцветов), что не позволяло сделать шлифовальную фабрику (по примеру Петергофской и Екатеринбургской) также и ограночной. В Локтевский завод пригласили Ашира, подавшего заявку на нахождение в степях различных руд и минералов, но поездки с ним за Иртыш результатов не дали.

Наконец, еще один академик — химик Т.Е.Ловиц, — пожертвовав свой образец науке, доложил в 1799 г. академическому собранию, что ему удалось разложить аширит на окись меди, кремнезем и воду: «изумруд» оказался неизвестным ранее силикатом меди. В 1801 г. французский кристаллограф Р.-Ж.Гаю окончательным образом установил, что это самостоятельный минеральный вид, назвав его за прозрачность диоптазом (от греческого «*διόπτω*» — смотрю сквозь).

Следующая глава связана с именем горного офицера (берггешворена) И.П.Шангина. В 1816 г. его отряд при военной экспедиции, пройдя около 3 тыс. верст по Казахстану, открыл и обследовал, помимо рудных месторождений, также проявления поделочных яшм, порфиоров, «зеленого агата» (хризопраза?), нефрита и составил первую карту этих мест. Осенью Шангин вышел на речку Алтынсу, оказавшуюся одним из притоков Нуры, где было повторно открыто, впервые описано и нанесено на карту месторождение медных руд и диоптаза. Было установлено, что оно разделено на два участка, где в известняке залегают меднорудное тело. Диоптаз находят лишь на восточ-

ном участке [4]. В 1821 г. Шангин прочитал в Петербургском минералогическом обществе доклад об Алтынтабе, опубликованный посмертно [5]. Привезенные им образцы были дополнительно исследованы. В частности, Г.Гесс в Петербурге и Л.-Н.Воклен во Франции уточнили состав минерала.

Несмотря на исключение из списка «настоящих» драгоценных камней\*, диоптаз по-прежнему привлекал всеобщее внимание внешним видом и редкостью. Спрос на минерал подогревался трудностью достижения его источника. В 1823 г. минеральный кабинет Горного кадетского корпуса в Петербурге (будущий музей Горного института) приобрел другу кристаллов диоптаза за 600 руб. — очень большие по тому времени деньги.

После учреждения у Каркаралинских и Кокчетавских гор первых «внешних округов» с военными гарнизонами (1824), один из потомков горнопромышленника Н.Демидова обратился к Александру I с предложением перенести пограничные линии в глубь Казахстана до верховьев Нуры, мотивируя это тем, что там открыты «не только самые благонадежнейшие золотые и серебряные рудники, но даже и дорогих камней породы (записки и донесения о сем Екатерине II англичанина Бентама)» [6]. Так диоптаз превратился в аргумент геополитики. Но проблемы были сложнее, чем казалось Демидову. Упразднение ханской власти и новая система управления вызвали волнения в степях, и в Петербурге с переносом линий не спешили.

Попадавшие же в степи Среднего жуза использовали любую возможность заглянуть на Ал-

\* Диоптаз превосходит изумруд по двупреломлению (0.053 против 0.004—0.008) и дисперсии преломления (0.036 против 0.014), вызывающим характерную игру кристаллов, но значительно уступает в твердости (5 против 7.5—8 по шкале Мооса).

тынтобе. К месторождению была протоптана «народная тропа», в дальнейшем не зараставшая. Ботаника К.А.Мейера в 1826 г. сопровождал с Иртышской линии в Каркаралинский округ казачий унтер-офицер Вяткин, участник экспедиции 1816 г. В Каркаралинске, пишет Мейер, «местный мулла из татар... вызвался быть проводником до диоптазового рудника. Этот мулла... превосходно знает местность и раньше уже был проводником у Шангина и Вяткина» [7].

А.Гумбольдт, путешествовавший в 1829 г. по Уралу и Азиатской России под патронажем всесильного министра финансов Е.Ф.Канкрин, попасть в Казахские степи не смог. Это окончательно выяснилось в Тобольске, где Гумбольдта и его спутников — Г.Розе и Х.Эренберга — тепло принимал генерал-губернатор Западной Сибири Вельяминов. Путешественники, однако, получили неожиданный презент. Как писал впоследствии минералог Розе: «Через г-на Вельяминова г-н Гумбольдт получил целую коробку кристаллов диоптаза, частью свободных, частью выросших на плотный известняк, которые являлись для нас особенно ценным подарком, поскольку диоптаз все еще принадлежит к самым большим минералогическим редкостям» [8].

Для золотопромышленника и купца С.Попова, первым приступившего к разработке серебро-свинцовых руд в верховьях Нуры, границы не были препятствием. Его люди не только пересекали по торговым делам степи по пути в Среднюю Азию, но бывали и в Китае. Принимая Гумбольдта и его спутников в Семипалатинске, он показывал им достопримечательности тех мест. Как отметил с некоторым разочарованием Розе: «...мы видели у него и редкие минералы, например, несколько превосходных штуфов диоптаза, которые можно свободно достать в Семипалатинске едва ли не из первых рук».

Не отставало и военное начальство. В 1833 г. горного офицера Б.А. Калитеевского, приданного военным топографам, проводившим рекогносцировку Кокчетавского округа, неожиданно командировали за сотни верст «для разведывания месторождения диоптаза». Ничего нового он там не открыл, указав лишь: «...месторождение сего редкого минерала так богато оным, что... все минеральные кабинеты в Европе были бы им снабжены» [9].

Француз Ж.Эйрие, путешествовавший по Уралу и Сибири, заехал в степи в 1830-е годы с единственной целью: «...осмотреть хребет Кар-Каралы и копи медистого изумруда в горах Алтын-Тубе: изумруды находятся в известняке, лежащем на пластах глинисто-сланцевых..., эти драгоценные камни прекрасного медно-зеленого цвета» [10]. (Как видим, любители еще долго считали диоптаз разновидностью изумруда.)

В 1842 г. географ Г.С.Карелин, затеявший экспедицию по Казахским степям, Алтаю и Саянам, в ходе которой остался без средств, обратился за помощью к Московскому обществу испытателей природы (МОИП), в котором состоял. Ответ, по-видимому, содержал встречное предложение. Карелин добрался до Алтынтобе, обнаружил там шесть жил с диоптазом и отправил Обществу пять ящиков с кристаллами. Далее, как свидетельствует архивный документ [11], по поручению основателя и вице-президента МОИП Г.И.Фишера фон Вальдгейма купеческий дом Кренц и К<sup>о</sup> в Берлине приобрел и выслал Обществу взамен диоптазов 865 образцов с отпечатками ископаемых животных, особо — ихтиозавра (!), а также пять гипсовых слепков редчайших ископаемых животных и коллекцию мхов (340 ящиков).

Во второй половине XIX в. минералогии уточняли состав, оптические и кристаллографические характеристики диоптаза. Его нашли в золотых россы-

пях Сибири: в 1853 г. Р.К.Маак — на приисках Енисейской тайги, а в 1885 г. П.В.Еремеев — в Забайкалье [12].

Уже в советское время Ф.В.Чухров, исследовавший остатки выработок на Алтынтобе, обратил внимание, на то, что на Западном участке, где диоптаз отсутствует, обычная для зоны окисления «медная зелень» представлена в основном не малахитом (карбонатом), а значительно более редким и внешне сходным с ним водным фосфатом меди — элитом, образующим, как и малахит, почки концентрически-зонального строения [13]. Причины того, что медь в одной и той же (карбонатной) среде и одинаковых на первый взгляд условиях формирования зоны окисления сульфидов на разных участках представлена столь различными химическими соединениями, остались невыясненными. В работе Чухрова приведены сведения о других местонахождениях диоптаза — в штате Аризона (США), в Чили, Перу и Французском Конго (ныне — Заир). Однако и современные минералогии отмечают, что кристаллы и друзы такого размера и качества, как на Алтынтобе, нигде больше не встречались.

Диоптаз привлекал внимание не только профессионалов-минералогов и подлинных любителей камня, но и любителей другого сорта. Тропа к речке Алтынсу по-прежнему не зарастает. Если в первой половине XX в. охотников за минералами сдерживала неясность географического положения Алтынтобе (подробных карт в продаже не было), то позднее на Птичьем рынке в Москве продавались листки с детальным описанием маршрутов на казахстанские месторождения горного хрусталя (Кент), хризопраза (Сарыкулболды), огромных кристаллов пирита (Акчатау) и диоптаза... Месторождение растаскивалось самым беспорядочным и хищническим образом. Друзы хрупкого минерала не столько извлекались, сколько дробились,

усеивая поверхность россыпью обломков. Нашлись «умельцы», использовавшие для ускорения дела взрывчатку...

Если сульфидные медные руды месторождения предварительно разведаны бурением

с составлением геологического отчета и оценкой запасов, то сколько-нибудь серьезного изучения, оконтуривания и оценки диоптазовой минерализации в зоне окисления не проводилось. Остается надеяться, что

сейчас, когда минеральные богатства Республики Казахстан рассматриваются как главный источник ее экономического развития, остатки месторождения наконец возьмут под охрану и изучат должным образом. ■

## Литература

1. *Шангин И.П.* Исторические известия об открытии диоптаза с кратким описанием месторождения одного // Тр. СПб. минер. об-ва. 1830. Т.1. С.390—399.
2. *Hermann B.F. Briefliche Mitteilung an Dr. Lorenz Crell (über eine Druse von Smaragden aus der Kirgisensteppes).* Crell, Chem. Annalen für... etc., 1788. I. S.325—326, 519—520.
3. *Pallas P.S. Mineralogische Neuigkeiten aus Sibirien. 5. Von einem merkwürdigen smaragdgrünen Spat.* Neue Nordische Beiträge, 1793. V.5. S.283.
4. *Бурштейн Е.Ф.* У истоков рудного Казахстана // Природа. 1999. №6. С.27—39.
5. *Бурштейн Е.Ф.* Шангины — исследователи Южной Сибири и Казахских степей. М., 2003.
6. Записка коллежского советника Демидова на имя императора Александра I о переносе Сибирской и Оренбургской укрепленных линий в глубь Казахстана // Казахско-русские отношения в XVIII—XIX вв. Алма-Ата, 1964. С.217—221.
7. *Мейер К.А.* Путешествие по джунгарской Киргизской степи. Дневник путешествия по Киргизской степи к Нор-Зайсану и Алтын-Тюбе в 1826 г. // Ледебур К.Ф., Бунге А.А., Мейер К.А. Путешествие по Алтайским горам и джунгарской Киргизской степи. Т.2. Новосибирск, 1993. С.218—345.
8. *Rose G. Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspische Meere. Bd.I.* Berlin, 1837. S.488.
9. *Калитеевский Б.А.* // Горн. журн. 1833. IV. Кн.12. С.385.
10. *Эйриэ Ж.* Живописное путешествие по Азии... Т.1. М., 1839.
11. Архив МОИП. *Люлинецкая З.Н., Страшун И.Д.* Материалы к истории МОИП. 1805—1917 гг. Т. VI: Путешествия. М., 1958. С.1005.
12. *Обручев В.А.* История геологического исследования Сибири. Период третий (1851—1888). Л., 1934.
13. *Чухров Ф.В.* Зона окисления сульфидных месторождений степной части Казахстана. М., 1950.

## Астрономия

### Астероид промахнулся, но...

В ночь с 12 на 13 января 2004 г. автоматизированная система наблюдения за небесными объектами зарегистрировала неизвестный астероид, получивший затем обозначение 2004ASI. Сообщение об этом, как обычно, было передано в Центр по изучению малых планет (Кембридж, США), сотрудники которого поместили соответствующую информацию на свои страницы в Интернете (астрономическая общечеловечность пользуется ею в целях наблюдения и уточнения орбиты «новых» малых планет).

Один из немецких астрономов-любителей на основании

своих вычислений пришел к выводу, что астероид имеет все шансы «врезаться» в Землю, о чем поспешил известить на страницах Интернета. Прочтя эту новость, некий профессиональный астроном (недавно ушедший на пенсию) сообщил о ней коллегам, и в ту же ночь на сайт Лаборатории реактивного движения НАСА США посыпались результаты вычислений, сделанных в самых различных странах мира. В самой лаборатории подсчитали: астероид 2004ASI, размеры которого близки к 1 км в поперечнике, имеет примерно 25%-ную вероятность столкнуться с Землей.

Д.Моррисон (D.Morrison), один из ведущих членов рабочей группы Международного астрономического союза по круп-

ным околоземным объектам, полагал, что в данных обстоятельствах необходимо сообщить властям о грозящей опасности, но обнаружил, что не существует инструкции, которая бы указывала, что и при каких условиях нужно делать. Лишь под утро некий астроном-любитель из штата Колорадо отвратил назревавшую тревогу, утвердившись во мнении, что астероид пройдет мимо Земли. Б.Марсден (B.Marsden; Центр по изучению малых планет) тоже не выразил опасений: неопределенность орбиты 2004ASI настолько велика, что поднимать тревогу, грозящую паникой, не следует.

На сей раз астероид «промахнулся», но астрономическая общественность, уже наученная этим опытом, настаивает, чтобы

власти приняли решения, регулирующие поведение специалистов в случаях, когда «бродячая» малая планета снова окажется на траектории, угрожающей столкновением с Землей.

Science. 2004. V.303. №5662. P.1272 (США).

### Медицина

#### «Дайте мне новое лицо»

Случается, человек рождается с весьма неказистой внешностью, и это несчастье всей его (особенно ее) жизни. Гораздо чаще черты лица уродуются при какой-нибудь катастрофе или автомобильной аварии. Чем помочь жертвам в подобной беде? Ответ уже почти готова дать сегодняшняя медицина с ее тончайшими методами трансплантации. Готова технически, но еще не юридически и тем более — в этическом плане.

Недавно Французский национальный консультативный комитет по этике отказал хирургу Л.Лантьери (L.Lantieri; Больница им.Анри Мондора под Парижем) в проведении первой в мире трансплантации человеческого лица, сочтя процедуру слишком рискованной. Между тем у врача уже был на руках список из пяти человек, прошивших о такой операции с использованием лиц трупов. Попытке подобного оперативного вмешательства воспрепятствовал своему соотечественнику П.Батлеру (P.Butler) и Королевский хирургический колледж в Англии. Разрешение на пластическое изменение лица некоему несчастному «квазимодо» давно ждет в Мадриде опытнейший хирург Ф.Гомес-Браво (F.Gomez-Bravo).

Британские врачи, юристы и специалисты по этике мотивировали свой отрицательный вердикт тем, что эффект от вероятного отторжения пересаживаемой ткани будет весьма сильным, в том числе и психо-

логически; совершенно необходимы предварительные исследования и других рисков — от последствий инфекции до возможной лимфомы из-за длительного приема лекарств, подавляющих естественный иммунитет. Впрочем, многие хирурги уверены, что все это — лишь вопрос времени. Поэтому преисполненный профессионального оптимизма американский хирург Дж.Баркер (J.Barker; Клиника при Луисвиллском университете) продолжает свои эксперименты по пересадке лицевой ткани от одного трупа другому, с каждым разом все больше набивая руку в тонком деле соединения мельчайших нервов, управляющих выражением человеческих эмоций.

Science. 2004. V.303. №5665. P.1761 (США).

### Археология

#### Найден «Бигль»?

Вполне вероятно, что специалисту в области подводной археологии Р.Прескотту (R.Prescott; Университет Сент-Эндрюс, Великобритания) вместе с сотрудниками удалось найти «Бигль» — 27-метровое судно, на котором молодой натуралист Чарлз Дарвин 27 декабря 1831 г. отправился из порта Девон в длительное плавание, завершившееся возвращением в порт Фалмут 2 октября 1836 г. Спустя некоторое время «Бигль» был переоборудован в судно преследования и пресечения контрабандной торговли посудой времен викторианской эпохи.

Судно, пока принимаемое за «Бигль», лежит на дне болота, прилегающего к о.Поттон (эстуарий Темзы, территория графства Эссекс, Юго-Восточная Англия). Координаты судна по радиолокационным измерениям незначительно отличаются от координат «Бигля», показанных на карте 1847 г. издания. Имен-

но это совпадение и позволило Прескотту говорить об обнаружении «Бигля». Для вскрытия корпуса или того, что осталось от судна, нужно прозондировать 5-метровую толщу илов и тины, которые его покрывают. Если это судно окажется подлинным «Биглем», его поднимут и превратят в мемориал науки.

Science et Vie. 2004. №1039. P.19 (Франция).

### Океанология

#### Океанские пустыни оживают после урагана

Как известно, в некоторых акваториях Мирового океана существуют обширные области, в которых биологические процессы протекают крайне вяло. Нередко их называют океанскими пустынями. Но когда над этими областями проходят ураганы (тропические циклоны), пустыни оживают. Под действием сильных ветров и течений к поверхности из глубин поднимаются богатые питательными веществами воды. При обилии солнечного света и питательных веществ резко возрастает фотосинтез — наступает внесезонная вспышка размножения микроводорослей, так называемое цветение. При этом поверхностные воды океана становятся зелеными, что хорошо видно из космоса.

Специалисты Университета им.Дж.Гопкинса в Балтиморе (штат Мэриленд, США) исследовали траектории 13 ураганов, проходивших над Северной Атлантикой в период между 1998 и 2001 г., а также материалы по состоянию поверхности океана, собранные американским спутником «Sea Star». В итоге определена прямая зависимость между силой урагана и масштабами цветения. Последствия этого цветения отражаются на всех уровнях пищевой пирамиды.

Sciences et Avenir. 2004. №691. P.46 (Франция).

# Естественная история зверя пунаре в 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> главах

П.М.Бородин, П.С.Д'Андрея, С.К.Баррейро Гомес

## Глава 1. Кто такой зверь пунаре и как он попал в Южную Америку

Из всех невиданных зверей, которых, как известно, в Бразилии такое изобилие, пунаре (он же рабуду, он же трихомис, он же щетинистая крыса), конечно, не самый невиданный. Он относится к роду трихомисов из семейства щетинистых крыс из подотряда кавиоморфных грызунов (рис.1). Хотя грызуны ли кавиоморфные грызуны, это для некоторых еще не очевидно. По крайней мере по поводу самого главного кавиоморфного грызуна — кавии (она же морская свинка) в научной литературе недавно шли бурные дебаты.

В журнале «Nature» в 1991 г. была опубликована статья под названием «А грызун ли морская свинка?». В ней на основе анализа последовательности аминокислот в некоторых белках утверждалось, что морская свинка отделилась от общего ствола млекопитающих задолго до того, как приматы и парнокопытные разошлись на пути эволюции с мышеобразными грызунами, а потому, скорее всего, не грызун. Через два года в «Proc.



**Павел Михайлович Бородин**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией рекомбинационного и сегрегационного анализа Института цитологии и генетики СО РАН, профессор кафедры цитологии и генетики Новосибирского государственного университета. Занимается проблемами эволюционной генетики, генетики мейоза. Лауреат премии им.профессора В.С.Кирпичникова за выдающийся вклад в развитие эволюционной генетики (2004).



**Пауло Серджио Д'Андрея**, доктор философии (экология), заведующий лабораторией биологического контроля шистосомоза Института тропической медицины им.Освальдо Круза (Рио-де-Жанейро, Бразилия). Основные работы в области экологии природно-очаговых тропических болезней.



**Симона Кристина Баррейро Гомес**, стажер той же лаборатории. Область научных интересов — популяционная экология мелких млекопитающих.

© Бородин П.М., Д'Андрея П.С., Баррейро Гомес С.К., 2005

Рис. 1. Самка пунаре  
с детенышами.

Фото С.Р.Бонвицино



Natl. Acad. Sci. USA» появилась другая статья, авторы которой, опираясь уже на данные о последовательности нуклеотидов, доказывали, что морская свинка все-таки грызун [2]. Еще через три года опять же в «Nature» вышла статья третьей группы авторов, которую они назвали прямо и недвусмысленно «Морская свинка — не грызун». Дискуссия на этом, однако не закончилась, а пошла по второму кругу. В 1997 г. опять публикуется статья других исследователей под почти тем же самым названием, что и самая первая статья, — «А грызуны ли морские свинки?». Все эти споры вызваны тем, что ветвления филогенетического дерева грызунов произошли очень давно, гораздо раньше, чем выделились некоторые другие отряды млекопитающих (например, хищные и копытные).

Филогенетическое древо грызунов по современным данным выглядит примерно так. Ствол его образовался очень давно, более 90 млн лет назад. На нем выделились две основные ветви: одна к белкам и соням, а другая ко всем остальным грызунам. Затем эта последняя ветвь дала начало двум новым: одна к кавиоморфам и дикобразам, а другая ко всем остальным грызунам. И наконец, разделились ветви кавиоморф и дикобразов, общий предок которых жил около 50 млн лет назад в Африке. От нее уже откололись и ушли в долгое плавание Австралия с Индией и Антарктидой в одну сторону, а Южная Америка — в другую.

Тогда в Южной Америке не было никаких грызунов, были лишь неполнозубые (броненосцы, муравьеды и ленивцы) и отдельный, ныне вымерший, отряд копытных. Грызуны и приматы загадочным образом проникли из Африки в Южную Америку гораздо позже — около 35 млн лет назад. Как им это удалось, каким образом они смогли преодолеть Атлантический океан, не знает никто. Наиболее популярная гипотеза — с камешка на камешек (stepping-stone). Предполагается, что между Африкой и Южной Америкой существовала цепь островов, по которой приматы и кавиомор-

фы перебрались в Южную Америку. И тем, и другим Новый Свет понравился. Они нашли там множество разнообразных экологических ниш, с удовольствием их заселили и дали начало фантастическому разнообразию новых семейств, родов и видов. И вид трихомис (он же рабуду, он же пунаре) — один из них. Только вот один ли?

На этот вопрос мы и попытались найти ответ. Одного из нас (П.М.Бородин) интересовал сам механизм образования новых видов. Как из одного вида получается несколько? Где та грань, за которой отдельные популяции одного вида становятся разными видами? Что определяет эту грань, и как это что-то возникает в эволюции? Бородин искал ответы на вопросы в Сибири на обыкновенной землеройке [1], в Японии на мускусной землеройке [2] и, наконец, в Бразилии на пунаре. П.Д'Андрея и С.Гомес проблема интересовала в экологическом и эпидемиологическом аспектах. Дело в том, что зверь пунаре — промежуточный хозяин очень опасного паразита, трипаносомы крузи, вызывающего у людей болезнь Чагаса. Трипаносома живет в кишечнике летучих клопов-кровососов, которые имеют неприятную привычку пить кровь спящего человека и при этом опорожняют кишечник там же, где и пьют. То место, откуда клоп попил крови, начинает чесаться. В расчесы попадает трипаносома из экскрементов клопа. Затем она расселяется по организму и медленно, но верно поражает гладкую мускулатуру пищеварительного тракта и сердца. Инкубационный период болезни Чагаса длится от 10 до 20 лет.

## Глава 2. Где ловили зверя пунаре

Мы попали в Южную Америку через 30 млн лет после прибытия туда кавиоморфных грызунов и обезьян Нового Света, и нам там тоже очень понравилось. Наша первая совместная экспедиция работала на территории fazendas Сертан де Фор-

мозо, что находится в самом центре Бразилии на границе штатов Гояйс, Баййя и Минас Жерайс. Все пунаре, попавшиеся здесь в ловушки, имели кариотип из 28 хромосом. Это нас несколько удивило, потому что из литературы известно, что стандартный кариотип пунаре состоит из 30 хромосом. Но поскольку по всем морфологическим показателям наши звери походили на нормальных пунаре, а один из нас по своему опыту работы с землеройками знал, что популяции одного и того же вида могут значительно отличаться по числу хромосом [1, 2], удивление было несильным. Мы взяли с собой несколько живых пунаре с этой фазенды и поселили их в виварий Института тропической медицины в Рио-де-Жанейро. Так была основана лабораторная колония Сертан де Формозо.

Следующая наша экспедиция работала на северо-востоке Бразилии в штате Пиауи. Там на зеленых склонах Сьерра де Капибара, окруженных мертвыми марсианскими лесами каатинги, расположен крохотный городок под названием Коронел (полковник) Жозе Диас. Чем был знаменит этот полковник, никто в городе не знает. Но дело не в полковнике, а в том, что неподалеку от городка в огороде у гостеприимной доны Марии мы поймали пунаре со стандартными кариотипами — 30 хромосом. Их мы тоже вывезли живыми в виварий института. А поскольку огород доны Марии назывался фазенда Фелисидадже (счастье), то и колония из ее огорода получила то же название.

В третий раз мы встретились с пунаре в месте, где их вовсе не ожидали увидеть, — в болотах Пантанала на юго-западе Бразилии. До сих пор наш зверек встречался в сухих каменистых местах и довольно высоко над уровнем моря. Но здесь на фазенде Алегрия (радость) — ниже уровня моря и в гигантском, никогда не пересыхающем болоте по соседству с крокодилами и пираньями — он тоже жил в радости, и по всем признакам это был все тот же пунаре. Правда, хромосом у него было 34. Этих зверей мы тоже привезли в виварий, и от них пошла колония под названием фазенда Алегрия.

После этого один из нас покинул Новый Свет и вернулся в Сибирь к своим старосветским землеройкам, а двое других занялись скрещиванием пунаре из всех трех колоний друг с другом. Зверь этот размножается медленно, зрелости достигает в полгода, беременность у него продолжается целых три месяца, поэтому скрещивания шли небыстро.

### Глава 3. Как гибриды пунаре с пунаре соблюдали правило Холдейна

Когда через два года Бородин ненадолго вернулся в Бразилию, гибридов было уже достаточно. Выглядели они точно так же, как и их родители. Это неудивительно, поскольку родители были

внешне неотличимы друг от друга. И так, представители разных популяций пунаре скрещиваются друг с другом и дают жизнеспособное потомство. Следовательно зоологи правы, относя их к одному виду? Пока подождем с таким выводом. Мы не только получили гибридов, но и попытались их размножить, скрещивая гибридов друг с другом и с представителями родительских популяций. И тут у нас возникли проблемы.

Самки-гибриды нормально скрещивались с родительскими формами и давали потомство, но гибридные самцы оказались бесплодными. Вскрытие показало, что их гонады сильно редуцированы: они были втрое меньше, чем у нормальных пунаре. Гистологический анализ обнаружил, что сперматогенез у них начинается нормально, а потом внезапно останавливается в самом начале мейоза — процесса, который ведет к образованию гамет. В гонадах гибридов между разными популяциями пунаре мы не обнаружили ни одного зрелого сперматозоида. При этом самки-гибриды были вполне плодовиты.

Здесь самое время вспомнить о правиле Холдейна. Его сформулировал в начале XX в. один из отцов-основателей синтетической теории эволюции Дж.Б.С.Холдейн (рис.2). Это одно из самых строгих и самых непонятных правил в эволюционной биологии. Строгое в том смысле, что практически не имеет исключений, а непонятное потому, что никто не понимает, почему и как оно выполняется. Правило Холдейна звучит так: «Если при гибридизации видов или популяций один пол отсутствует или стерилен, то это гетерогаметный пол», т.е. пол, у которого разные половые хромосомы. У млекопитающих и двукрылых насеко-



Рис.2. Дж.Б.С.Холдейн на митинге на Трафальгарской площади.

мых — это самцы, имеющие хромосомы X и Y, у птиц и бабочек — это самки с половыми хромосомами W и Z. Если у гибридов один пол стерилен, то у млекопитающих и двукрылых — это всегда самцы, а у птиц и бабочек — всегда самки.

Итак, гибриды пунаре в очередной раз подтвердили справедливость правила Холдейна, от чего оно, правда, не стало понятнее. Почему гетерогаметность (гетерозиготность по половым хромосомам) приводит к стерильности? К этому вопросу мы еще вернемся. А пока обратим внимание на то, что наши стерильные самцы-гибриды были гетерозиготны не только по половым хромосомам, но и по некоторым аутосомам (неполовым хромосомам).

### Глава 4. Как пунаре накапливали хромосомные перестройки

Пунаре из центра Бразилии имели 28 хромосом, с северо-востока — 30, с юго-запада — 34. Надо думать, что различия в кариотипах между популяциями образовались в ходе эволюции благодаря возникновению и локальному распространению определенных хромосомных перестроек. Видимо, из 34-хромосомного кариотипа за счет серии перестроек возник 30-хромосомный, а от него произошел 28-хромосомный благодаря тому, что две хромосомы (одна большая и одна маленькая) слились и образовали одну очень большую хромосому (рис.3).

Гибриды между носителями таких разных кариотипов оказываются гетерозиготами по тем хромосомным перестройкам, которые их отличают. Принято считать, что такая гетерозиготность ведет к стерильности из-за трудностей в спаривании и расхождении в мейозе. Это верно для определенного класса перестроек. Но в него уж точно не должны входить те, которые отличают особей одного вида или близкие виды. Почему?

Потому что каждая из этих перестроек когда-то и у кого-то возникла и была передана одному или

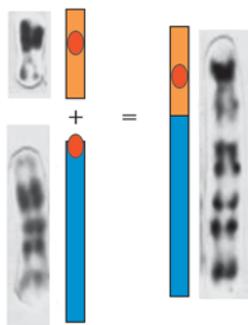


Рис.3. Длинная хромосома у 28-хромосомных пунаре. Произошла за счет слияния двух хромосом, характерных для 30-хромосомных пунаре.

нескольким потомкам. Ее первые носители неизбежно были гетерозиготами, потому что хромосомные перестройки возникают очень редко и абсолютно невероятно, чтобы одно и то же изменение возникло одновременно у обоих родителей. Самые первые носители перестройки не могли быть стерильны. Ведь если бы они были стерильны, то не смогли бы передать ее своим потомкам, и она не распространилась бы в популяции. Иначе говоря, если допустить, что 28-хромосомные пунаре произошли от 30-хромосомных, пройдя при этом стадию гетерозиготности по хромосомному слиянию (а иного логического пути у нас нет), то нельзя утверждать, что их гибриды стерильны из-за гетерозиготности по этому слиянию. Заметьте, что все гибриды (и самцы, и самки) гетерозиготны по слиянию, а стерильны только самцы. Итак, простая логика показывает, что стерильность самцов-гибридов не объясняется гетерозиготностью по хромосомным перестройкам.

Гипотеза о хромосомной стерильности отвергается и результатами скрещивания фертильных самок гибридов с самцами из родительских популяций (рис.4). При скрещивании 30-хромосомной гибридной самки с 30-хромосомным самцом все пять потомков были самцами и все они имели 30 хромосом. Среди них один был фертильным, два — такими же стерильными, как самцы первого

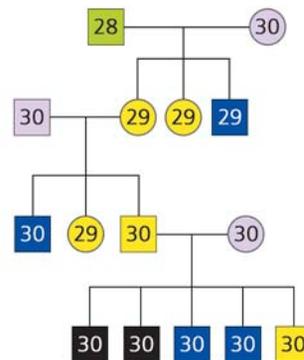


Рис.4. Фрагмент родословной гибридов пунаре. Квадратами обозначены самцы, кружками — самки. Зеленым — представители 28-хромосомной популяции, розовым — 30-хромосомной. Желтым — фертильные гибриды, синим — стерильные гибриды, черным — еще более стерильные гибриды. Указано число хромосом у каждой особи.

поколения, а два — еще более стерильными. На законный вопрос читателя, как можно быть стерильной стерильного, мы ответим чуть позже. А сейчас только подчеркнем, что восстановление нормального кариотипа не привело к восстановлению фертильности у большинства самцов потомков гибридной самки. Этот факт еще раз подтверждает,

что гетерозиготность по хромосомным перестройкам, отличающим популяции, не служит причиной стерильности гибридных самцов.

Так почему они все-таки стерильны? Давайте повнимательней посмотрим на потомков от скрещивания гибридной самки с самцом из родительской популяции. Вернее, не на самих потомков, а на то, что происходило в их гонадах.

## Интерлюдия. Спаривание хромосом и его контролеры

Перефразируя Льва Толстого, можно сказать у всех фертильных зверей мейоз идет в принципе одинаково, а у всех стерильных он нарушается по-разному. Разберемся сначала с фертильными самцами. Мейоз начинается с того, что гомологичные (парные) хромосомы разыскивают друг друга. Как они это делают, до сих пор непонятно. Причем непонятно не только для пунаре, но и для всех живых организмов, которые размножаются половым путем. Настолько непонятно, что это заслуживает отдельного разговора [3].

Мы до сих пор не знаем, как мейотические хромосомы находят друг друга. Хотя в гипотезах недостатка нет. Многие согласны с тем, что хромосомы начинают сближаться на стадии лептотены: их концы, скользя по ядерной мембране, собираются в одной точке, и формируется структура, названная букетом. В ней гомологичные хромосомы оказываются поблизости друг от друга и приступают к взаимному опознанию. Ему посвящена следующая стадия мейоза — зиготена, которая, как предполагают некоторые специалисты, идет в два этапа: сначала приблизительное, а затем точное.

Приблизительное опознание может происходить по принципу штрих-кодов. Известно, что хромосомы представляют собой комплекс ДНК с белками. Их набор и характер связывания с ДНК во многом определяется последовательностью нуклеотидов. Поэтому каждая хромосома характеризуется индивидуальным, только для нее специфичным распределением белков — штрих-кодом. Поскольку у гомологичных хромосом после-

довательности ДНК в основном сходны, они должны иметь сходные штрих-коды. Таким образом, грубое распознавание может быть достигнуто простым их совмещением.

Тонкое опознание начинается с того, что в ДНК мейотических хромосом возникают множественные двунитевые разрывы. Свободные концы разорванных ДНК привлекают на себя специфические ферменты, с помощью которых они внедряются в неповрежденные районы ДНК других хромосом (не спрашивайте нас, откуда они знают, что это — ДНК других хромосом, а не их собственной, ответа не знает никто), и пытаются там отыскать комплементарные участки определенной протяженности. Найдя такой участок, внедрившаяся нить ДНК с ним спаривается. Тонкое опознание заканчивается, когда количество связей между ДНК пары гомологичных хромосом достигает критического уровня. Клетка вступает в стадию пахитены. Связи между гомологами фиксируются определенными белками, и хромосомы остаются в таком спаренном состоянии до вступления в следующую фазу мейоза — диплотену.

Вскоре после нее у всех самцов млекопитающих, включая и человека, и пунаре, следуют два цикла клеточного деления. После второго деления продукты мейоза окончательно превращаются в зрелые сперматозоиды, готовые для оплодотворения (рис.5).

У самок млекопитающих первые стадии мейоза происходят еще до рождения. Мейоз доходит до стадии диплотены, а потом останавливается. Мейотические деления происходят уже у взрослых самок. В каждый репродуктивный цикл финальные деления совершает одна, редко две клетки у женщин или пять—семь клеток у самок пунаре.

Вся эта сложная последовательность событий детально запрограммирована. Строго по плану хромосомы сходятся, опознают друг друга, спариваются, обмениваются участками, расходятся. Строго по расписанию цепи ДНК разрезаются, спариваются, разрезы залечиваются. Согласно расписанию в клетке включаются и выключаются гены, ответственные за синтез белков, необходимых для обеспечения этих процессов.



Рис.5. Стадии мейоза млекопитающих. Показаны только две пары гомологичных хромосом. У фертильных пунаре мейоз доходит до конца, у стерильных — останавливается на пахитене, у еще более стерильных — на зиготене.

Все идет, как на хорошо отлаженном конвейере по сборке автомобилей. Разница в том, что здесь машина сама себя собирает, более того, она еще и контролирует качество сборки. Прежде, чем перейти на следующую стадию мейоза, клетка сама себя проверяет, особенно придирчиво на переходе от пахитены к диплотене. Все ли хромосомы спарены? Не осталось ли неспаренных участков, незалеченных разрывов ДНК? Если все в порядке — идем дальше. Если хоть что-то не так, мейотическая клетка, как истинный самурай, делает себе харакири — переходит в апоптоз.

Забавно наблюдать, как клетка решает, казалась бы, неразрешимый конфликт: как быть с неспаренными участками половых хромосом у гетерогаметного пола? С одной стороны, спарить X с Y по всей их длине невозможно: уж слишком велики районы, их различающие. С другой, никак нельзя отступить от правила: все клетки с неспаренными хромосомами дальше пахитены не пускать, а немедленно отправлять в апоптоз. Для одной пары хромосом нельзя делать исключение из правила, поскольку контролеры исключений не понимают. Но можно их обмануть: спрятать пару не полностью спаренных половых хромосом и сделать ее (и только ее) недоступной для контроля. Именно так и поступают самцы млекопитающих. На стадии пахитены пара XY заботливо укутывается защитными белками и выпихивается на периферию ядра, подальше от систем контроля. Те ее не видят и дают зеленый свет для перехода на следующую стадию.

Если вернуться к разнице в мейозе между самцами и самками, то она не только в расписании основных мейотических событий, но и в строгости контроля. На первый взгляд, у самок контроль качества гамет должен быть более строгим, чем у самцов. Действительно, самки продуцируют относительно мало ооцитов. Именно самка вынашивает плод. Она должна быть уверена в качестве ооцита, из которого этот плод развивается. Если ооцит некачественный, долгое время беременности и ресурсы на развитие плода будут потрачены зря. А самцу — что? Его дурацкое дело нехитрое: наштамповать миллионы сперматозоидов, и если хоть десяток из них оплодотворит яйцеклетку, можно считать, что родительский долг исполнен.

На деле же все оказывается как раз наоборот. Контроль качества более строг при производстве мужских гамет. В зрелых ооцитах обнаруживается гораздо более высокий процент хромосомных aberrаций, чем в сперматозоидах. У самцов-мутантов по мейотическим генам мейоз останавливается на стадии пахитены или еще раньше. У самок с теми же самыми мутациями мейоз доходит до конца и образуются зрелые ооциты. В ряде случаев эти ооциты способны к оплодотворению и нормальному развитию.

Не в этом ли секрет правила Холдейна для млекопитающих? Если у гетерогаметного пола (самцов) мейотический контроль более суров, чем у гомогаметного (самок), то у гибридов-самцов он (контроль) будет браковать проблемные половые клетки и тем самым доводить этих самцов до полной стерильности.

## Глава 5. Отчего одни гибриды стерильные, а другие еще стерильней

Теперь, когда мы разобрались с мейозом у нормальных фертильных самцов, самое время вернуться к стерильным гибридным самцам. Отчего и как у них возникают проблемные половые клетки, что в них не нравится контролерам, и когда эти клетки делают себе харакири?

У гибридов первого поколения между 30- и 28-хромосомными пунаре было 29 хромосом. Мейоз у них начинался нормально. Гомологичные хромосомы успешно находили друг друга, а хромосома X нашла хромосому Y. Каждая из 24 аутосом нашла себе пару. А оставшиеся три хромосомы образовали тройку: с одной стороны длинная хромосома, полученная от 28-хромосомного родителя, а с другой — две покороче, которые пришли от 30-хромосомного родителя. При этом каждая хромосома встала на свое место. Только их концы не смогли спариться с длинным партнером. Поэтому в одних клетках они спарились друг с другом, а в других остались неспаренными (рис.6). А за исключением этих мелких проблем, все было нормально. И тем не менее, ни одна половая клетка

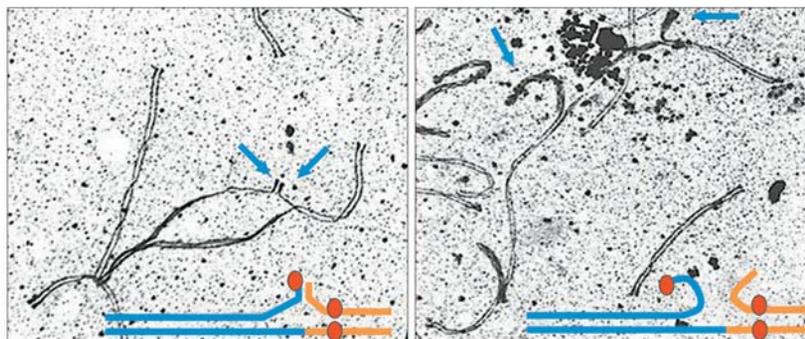


Рис.6. В мейозе у гибридов перестроенная хромосома спаривается со своими короткими гомологами. Вокруг точки слияния спаривание нарушено. Концы коротких хромосом спариваются друг с другом (справа) или остаются неспаренными.

у самцов гибридов дальше этой стадии не прошла. Контролеры не пустили, и мейоз закончился на стадии пахитены. Неужели все из-за не спаренных или неверно спаренных концов хромосом?

Непохоже. Дело в том, что среди потомков от скрещивания гибридных самок с 30-хромосомными самцами были такие, у которых мейоз остановился на пахитене. А ведь они имели 30 хромосом, которые четко разобрались по парам и спарились полностью. И тем не менее, контроль не прошли.

Кроме того, у них были братья (те самые, что стерильней стерильных!). У них тоже было по 30 хромосом. Каждая должна была легко найти себе пару. Могла, да не нашла. Мейоз у этих братьев-пунаре доходил до зиготены. А далее, как сказал в аналогичной ситуации принц Гамлет, — молчание. Ни одна клетка пахитены не достигла. Все погибли.

## Глава 6. Как наследуется гибридная стерильность у пунаре

Итак, было пять братьев пунаре. У всех по 30 хромосом (рис.4). Один был фертильный. Мейоз у него шел до конца и заканчивался формированием миллионов нормальных сперматозоидов. Двое других были стерильными. У них хромосомы спаривались, но мейоз остановился. А оставшиеся двое были еще стерильней. Хромосомы их не спаривались вовсе, а мейоз заканчивался едва начавшись (см. рис.5). Итого, мы имеем три фенотипа — норма, стерильные и еще стерильней.

В генетике это называется расщеплением. Мы знаем, что если в потомстве от возвратного скрещивания есть три фенотипа, значит, в их контроль вовлечено как минимум два гена. Допустим, что один из них (А) контролирует спаривание хромосом, а другой (В) — контроль этого спаривания. Прадед, дед и отец наших братьев пунаре имели по 30 хромосом и были гомозиготами: А1А1, В1В1. Их прабабка имела 28 хромосом и была гомозиготой: А2А2, В2В2. У всех этих предков мейоз шел нормально. Их бабка была гетерозиготой по обоим генам А1А2, В1В2. У нее и спаривание было не слишком хорошим, и контроль качества не очень строгим. Но это ей не помешало размножиться, поскольку она была самкой. А у самок, как мы с вами уже выяснили, контроль всегда не строгий. Генотип матери братьев пунаре мы установить не можем, но допустим, что она, как ее мать, была гетерозиготой по обоим генам А1А2, В1В2.

Теперь разберем возможные генотипы ее потомков. При хорошем спаривании даже хороший контроль не страшен, а плохой уж и подавно. Самцы с генотипами А1А1, В1В1 и А1А1, В1В2 должны быть фертильны. У гетерозигот по обоим генам А1А2, В1В2 и спаривание идет плохо, и контроль плохой. Но поскольку они самцы, то все же не такой плохой, как у гетерозиготных самок. То, что

Таблица

### Генетический контроль гибридной стерильности у пунаре

| Фенотип        | Генотип   | Спаривание (А) | Контроль (В) |
|----------------|-----------|----------------|--------------|
| Фертильный     | А1А1 В1В1 | Хорошее        | Хороший      |
| Фертильный     | А1А1 В1В2 | Хорошее        | Плохой       |
| Стерильный     | А1А2 В1В2 | Плохое         | Плохой       |
| Еще стерильней | А1А2 В1В1 | Плохое         | Хороший      |

у их матери и бабки доходило до конца мейоза, у них еле-еле добирается до середины. А дальше — конец. Они — стерильны. И, наконец, последний вариант А1А2, В1В1 — спаривание плохое, а контроль такой хороший, что бракует клетки с неспаренными хромосомами в самом начале мейоза (таб.).

Эта схема выглядит вполне логично. Она удовлетворительно объясняет то, что мы наблюдаем у гибридов. Но как могла возникнуть в эволюции такая система гибридной стерильности?

## Глава 7. Как возникала гибридная стерильность у пунаре

Отвечая на этот вопрос, мы должны исходить из того, что все три популяции пунаре, представителей которых мы скрещивали в лаборатории, имели общих предков. Эти предки, скорее всего, жили на юго-западе Бразилии, потому что именно там сохранились пунаре с наиболее примитивным 34-хромосомным кариотипом. Затем они расселились на север и восток. По мере расселения они теряли контакт друг с другом. Поток генов между отдельными популяциями ослабевал и наконец прекратился вовсе. После установления географической изоляции каждая популяция пошла своим путем эволюции. В разных популяциях возникали, распространялись и фиксировались разные мутации — генные и хромосомные. Все это происходило при одном условии — ни одна из этих мутаций в гетерозиготе не вызывала стерильности ее носителей. Иначе она не распространилась бы и не зафиксировалась.

Как при этом условии могли зафиксироваться мутации генов, контролирующих такие фундаментальные процессы, как спаривание хромосом и контроль качества половых клеток?

Рассмотрим сначала процесс спаривания. Вы помните, что он базируется на сравнении штриховых кодов гомологичных хромосом и на определении гомологий между отдельными участками ДНК. Механизмы распознавания не замечают гетерозотности по одной мутации. Спаривание наступает, если различия между гомологами не превышают определенный предел. Каждая популяция может постепенно меняться генетически, фиксируя одну мутацию за другой, без угрозы превысить этот

предел. Но разные популяции накапливают разные мутации. За многие поколения независимой эволюции различия в последовательностях ДНК и в штрих-кодах их хромосом достигают того предела, когда эти хромосомы, встретившись у гибридов, с трудом узнают друг друга.

Точно так же постепенно и независимо друг от друга эволюционируют механизмы контроля качества мейотических клеток. В каждой популяции по-разному меняется расписание мейоза — продолжительность его отдельных стадий. Меняются метки на хромосомах, которые позволяют контролерам отличать качественное спаривание от некачественного. Когда мы сводим вместе в гибридных клетках эти далеко разошедшиеся системы контроля, они дают сбой.

В свете этих рассуждений нам следует переписать схему генетической детерминации гибридной стерильности у зверя пунаре. Мы описали ее в терминах двух пар генов — А и В (это, конечно, сильно упрощено). Скорее всего, нам следует говорить о двух генетических системах, каждая из которых включает в себя много генов. И популяции, из которых мы брали родителей для наших гибридов, различаются по многим генам, входящим в эти системы. Еще популяции или уже виды?

## Глава 8. Сколько видов среди зверей пунаре

Вот мы и вернулись к вопросу, заданному в самом начале этой истории. Так сколько же видов среди пунаре? Один или несколько? В школьных учебниках описано несколько критериев вида.

### Литература

1. Поляков А.В., Бородин П.М. Хромосомный «портрет» бурозубки на фоне ледников // Природа. 2001. №1. С.34—40.
2. Бородин П.М., Рогачева М.Б., Ода С.И. Домовая землеройка на пути к видообразованию // Природа. 2002. №9. С.1—11.
3. Богданов Ю.Ф. Изменчивость и эволюция мейоза // Генетика. 2003. Т.39. С.453—473.

Попробуем их применить к пунаре. По морфологическому критерию его разные популяции явно не тянут на виды. Разницы между ними никакой. По экологическому — может, и тянут. Уж очень сильно отличаются условия, в которых живут наши популяции: в болотах Пантанала, в саваннах центральной Бразилии, на горных склонах Сьерры Капибары. По цитогенетическому критерию они вполне подходят под ранг видов — все три популяции различаются по кариотипам.

Самой важной из критериев — репродуктивная изоляция. Мы показали, что самцы-гибриды между разными популяциями стерильны. Но самки-то фертильны. Так есть ли между этими популяциями репродуктивная изоляция или нет? Есть, но неполная. Так виды это или не виды? Почти виды, но еще не совсем. К сожалению, мы пока ничего не знаем, что происходит на географических границах между популяциями. Соприкасаются ли ареалы разных популяций или нет? Если да, то образуются ли гибриды в природе? Неизвестно. Но очевидно, что звери пунаре уже далеко зашли по пути к видообразованию. А что будет с ними дальше — покажет время. ■

*Благодарности.* Цитогенетический и гистологический анализ проводился в Новосибирске. За помощь в приготовлении гистологических препаратов мы благодарны А.И.Железовой и Л.А.Чугаевой.

**Работа была выполнена при поддержке грантов Бразильского совета по науке и технологиям (CNPq), Фонда Освальдо Круза (FIOCRUZ), и РФФИ (01-04-48875 и 04-04-48024).**

# Космические снимки для картографирования биологической продуктивности морей

Б.Е.Лисицын

Мировой океан по-прежнему остается наименее изученной частью нашей планеты. Наиболее сложные задачи — выяснение картины распределения и количественная оценка фауны и флоры океана, определение продуктивности, изучение режима биологических процессов — т.е. исследование того, что выдающийся гидробиолог и океанолог Л.А.Зенкевич называл биологической структурой океана [1]. Немаловажной проблемой остается рациональное использование биологических ресурсов и эффективное ведение морского промысла. В настоящее время океан дает лишь несколько процентов от общего количества потребляемых человеком пищевых продуктов, хотя синтезируемая в океане биомасса сопоставима с продукцией наземной растительности.

Важный метод океанологических исследований — картографирование, которое обеспечивает привязку результатов комплексного изучения морских экосистем и позволяет обобщить и систематизировать подчас весьма разнородные данные экспедиционных наблюдений и космических съемок. Карты раскрывают и в доступной форме отображают



*Борис Евгеньевич Лисицын, кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры картографии географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается картографированием морских акваторий с использованием космических снимков.*

пространственные закономерности исследуемых явлений, дают возможность учета и оценки ресурсов Мирового океана. Однако картографирование морской биологической продуктивности океана заметно отстает по сравнению с картографированием других компонентов географической оболочки. Так, в Атласе Атлантического и Индийского океанов содержится всего 24 карты гидробиологической тематики, а в Морском атласе — всего десять.

Вплоть до XX в. основой исследования океана были экспедиционные съемки и наблюдения специализированных океанографических станций. Значения множества параметров обычно измерялись в сериях точек, расположенных на разрезах, которые пересекают гидро-

логические структуры и продукционные зоны морских акваторий. Однако количество данных, получаемых в течение экспедиционного рейса, слишком незначительно, чтобы «покрыть» крупный район океана.

Эффективная альтернатива длительным экспедиционным наблюдениям — результаты дистанционного зондирования: сначала — аэросъемок, а с 70-х годов XX в. — наблюдений из космоса. Такая съемка в океане обладает значительными достоинствами и позволяет перейти от точечных наблюдений к глобальному обзору. Материалы космического зондирования в настоящее время активно применяются для изучения гидрометеорологического и гидрохимического режимов, льдов, а также для экологического мониторинга

га Мирового океана. Особую роль они играют в исследованиях особенностей морской биологии.

В этой работе рассмотрены примеры использования спутниковых снимков для картографического изучения некоторых аспектов биопродуктивности. Первый относится к влиянию гидродинамических процессов на биологическую продуктивность Черного моря.

## Течения и органика

Гидродинамические процессы в море обычно делят на два вида: течения, обуславливающие перераспределение различных по продуктивности водных масс по поверхности моря, и вихревые потоки, вызывающие подъем биогенных элементов в зону фотосинтеза. Для анализа влияния течений на биологическую продуктивность в морских экосистемах Черного моря нами были использованы снимки поверхностной температуры, полученные с помощью радиометра AVHRR с американских спутников NOAA\*. Именно температурные поля индицируют развитие гидродинамических процессов в акватории.

Кроме того, применялись данные экспедиционных наблюдений (научно-исследовательское судно «Акванавт»)\*\* в северо-восточном секторе Черного моря осенью 1999 г., первый этап которой проходил 25–30 сентября. Обычно для этого летне-осеннего состояния экосистем характерны дефицит биогенных элементов в слое фотосинтеза и слабое развитие продукционных процессов в открытых районах моря [2]. Однако детальные исследования гидродинамической структуры вод Черного моря показали, что мезомасштабная циркуляция мо-

жет создавать значительные пространственные неоднородности в гидрохимических полях. Поступление в поверхностный слой вод, богатых биогенными элементами, в условиях их тотального дефицита обычно приводит к интенсификации процессов биосинтеза, что отражается в поле хлорофилла и органической взвеси.

На снимках, сделанных в конце сентября, хорошо заметны области циклонической и антициклонической циркуляции и разделяющая их зона дивергенции — расхождения поверхностных течений. Значительное (более чем на 6°C) снижение температуры в водах циклонического круговорота и области дивергенции по сравнению с соседними регионами открытого моря свидетельствует об интенсивном поступлении глубинных вод в поверхностные слои. В этот период гидродинамические процессы в море усилились, что привело к перераспределению биогенных элементов в вертикальной структуре водной толщи и заложило основы для будущего перехода к осеннему цветению [3].

В шельфовых районах и над континентальным склоном уровень концентраций хлорофилла максимален. В открытом море, в зоне действия мезомасштабных вихрей, распределение биопродуктивности неоднородно. Соседствующие холодные воды циклонического и антициклонического круговоротов отличаются минимальным уровнем продуктивности. Предельно низкое содержание хлорофилла отмечено в холодном ядре циклона и в водах дивергентной зоны. О слабом развитии продукционных процессов здесь также свидетельствует преобладание в составе органической взвеси детрита — продукта распада отмершего планктона.

У вод антициклонического вихря более высокие значения биопродукционных параметров, а роль живого фитопланктона в структуре взвешенного орга-

нического вещества повышена. Это связано с адвекцией (горизонтальным перемещением) теплых продуктивных вод шельфа в открытое море, наблюдаемой на северо-западной периферии циклонического круговорота. Причем форма полосы вод, обогащенных пигментами фитопланктона и органической взвесью, повторяет вихревую траекторию адвекции. В данном случае мезомасштабная вихревая циркуляция служит механизмом взаимодействия между планктонными сообществами прибрежной зоны, континентального склона и открытых районов северо-восточной части моря.

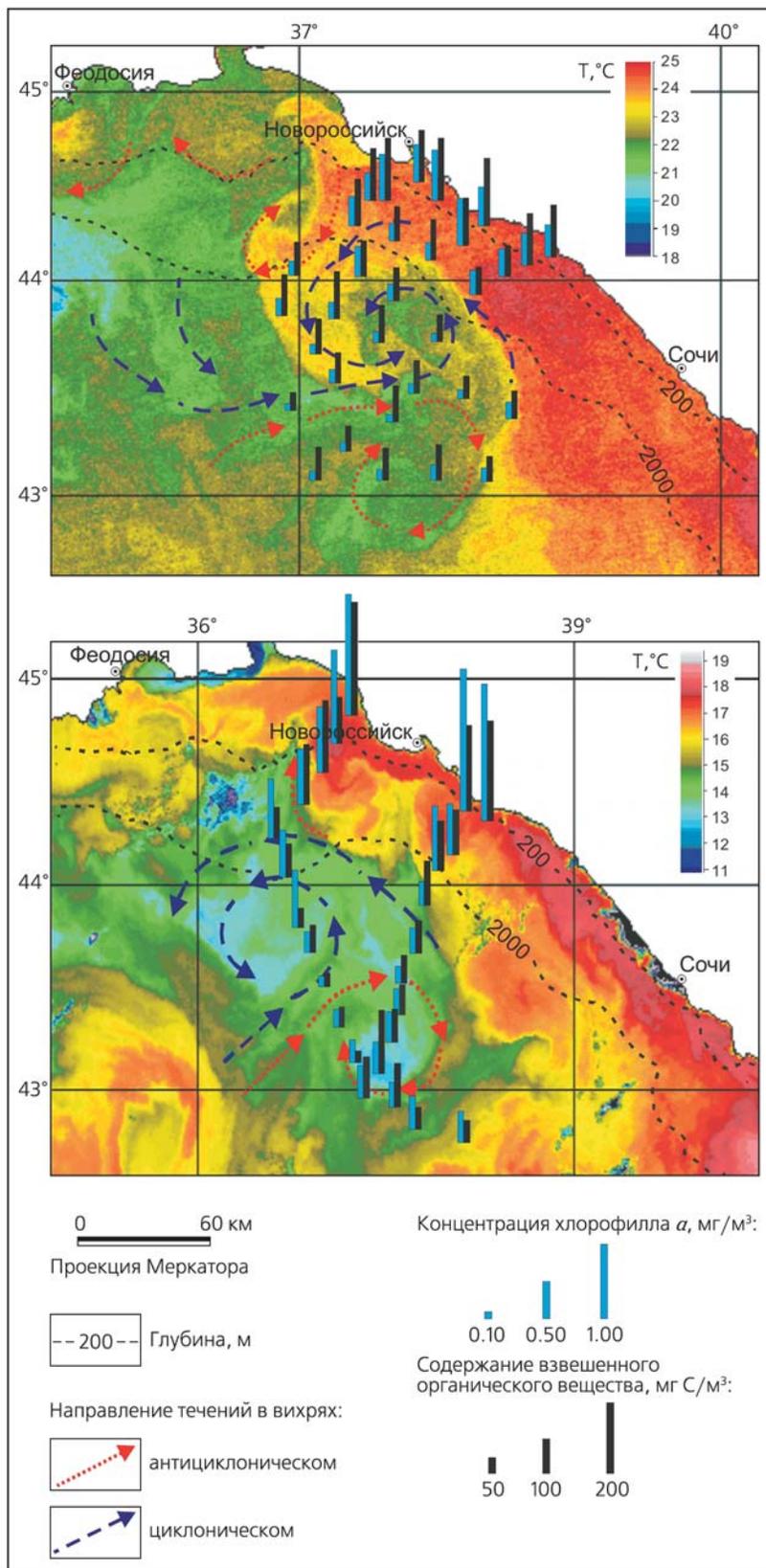
В первой половине октября вся северо-восточная часть моря была охвачена штормами. Грибовидная динамическая структура, состоящая из двух основных вихрей (циклонического и антициклонического), оказалась развернутой в направлении на северо-запад. Первые признаки массового развития фитопланктона были заметны в середине октября и выражались в трехкратном увеличении содержания хлорофилла в отдельных прибрежных районах. Уровень биопродуктивности постепенно повышался и в открытых районах моря.

Последующие наблюдения в течение октября позволили проследить поэтапное накопление взвешенного органического вещества в экосистеме в процессе массового развития фитопланктона. Съемка 21–24 октября показала, что содержание хлорофилла в выделенных структурных зонах северо-восточной части Черного моря увеличилось по сравнению с сентябрьскими величинами в 3–4 раза. В органическом веществе на начальной стадии периода цветения явно преобладал живой планктон.

В самом конце октября (25–29) на спутниковых снимках температуры в поверхностном слое не наблюдалось характерных для предшествующего периода признаков адвекции теп-

\* Любезно предоставлены Д.М.Соловьевым (Морской гидрофизический институт Академии наук Украины).

\*\* Любезно предоставлены С.В.Востоковым (Институт океанологии РАН).



Распределение температуры, концентраций хлорофилла *a* и взвешенного органического вещества в северо-восточной части Черного моря: вверху — в конце сентября 1999 г., внизу — в конце октября 1999 г.

лых прибрежных вод в открытое море. Мезомасштабная вихревая структура, которая обеспечивала крайнюю неоднородность гидрофизических условий среды на исследованной акватории, постепенно разрушалась. Граница теплых и холодных вод в исследуемой циркуляционной системе сместилась параллельно береговой линии, а полоса высоких концентраций хлорофилла расположилась над шельфом и континентальным склоном. В открытых районах моря относительно высокое содержание хлорофилла *a* и взвешенного органического вещества (в основном в детритной форме) отмечено на северной периферии и в центре циклонического круговорота, расположенного в зоне наблюдаемой ранее адвекции теплых вод. Экстремально низкие значения хлорофилла и взвешенного органического вещества по-прежнему наблюдались в дивергентной зоне, разделяющей круговороты. Однако при этом прослеживалась характерная для периода цветения тенденция к постепенному выравниванию показателей продуктивности в различных районах моря.

Таким образом, на основе экспедиционных и спутниковых снимков посредством картографического исследования были выявлены особенности пространственного распределения гидробиологических характеристик под влиянием гидродинамических процессов на разных продукционных этапах в северо-восточной части Черного моря.

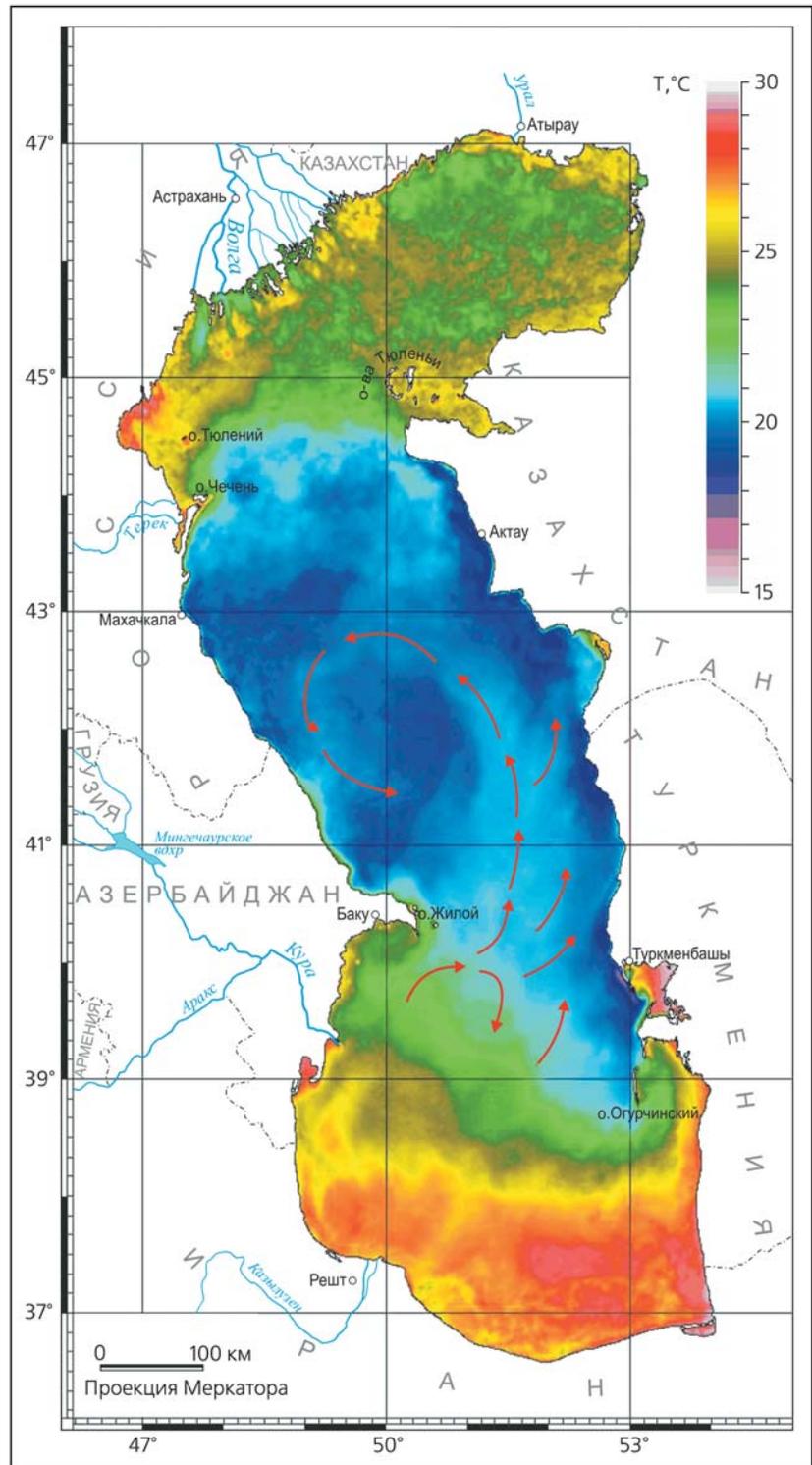
### Мнемиопсис в Каспийском море

Другой пример использования данных дистанционного зондирования для изучения биопроductивности морских акваторий касается анализа пространственной неоднородности распределения гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Каспийском море.

Это вид морских беспозвоночных, родина которого — воды Северной Атлантики (район северо-восточного побережья США). Его вселение и массовое развитие в Каспийском море в конце 90-х годов создало угрозу для биологических и промысловых ресурсов этого уникального водоема. Несколько раньше, в начале 90-х годов, из-за появления мнемииопсиса в Черном море было зафиксировано катастрофическое падение уловов планктоноядных рыб (хамсы, тюльки и ставриды) [4]. Первые итоги проникновения мнемииопсиса в Каспий свидетельствуют о высоких темпах освоения гребневиком акватории моря и начавшемся снижении уловов планктоноядных рыб [5].

Использованный в работе экспедиционный материал\* собран с 20 июня по 1 июля 2001 г. в рейсе научно-исследовательского судна «Исследователь Каспия». На американских спутниковых снимках\*\* — температура (данные NOAA) и содержание хлорофилла и органической взвеси (со спутников «SeaStar» и «Aqua»). Поле температуры на поверхности моря прямо или косвенно определяет развитие популяции мнемииопсиса в верхнем слое, а также служит индикатором водных масс, формирующихся в результате мезомасштабной циркуляции различного генезиса. Распределение концентрации хлорофилла и взвешенного вещества характеризует развитие фитопланктона и свидетельствует о переносе пассивных примесей в рамках мезомасштабных гидродинамических структур.

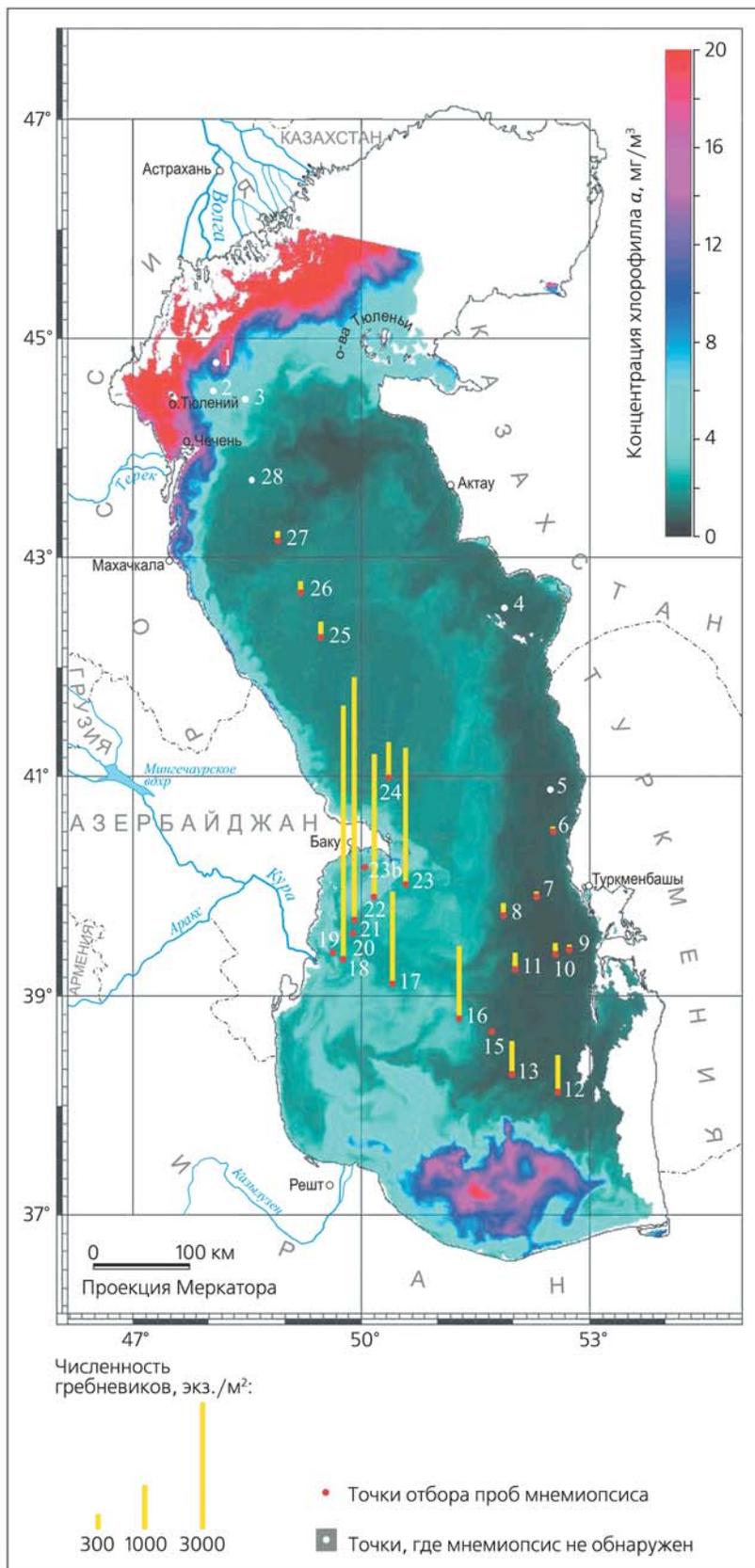
Сравнительный анализ снимков показал очевидную взаимосвязь между температурным полем и уровнем биопродуктивности. В наиболее прогретых водах Северного и Южного Каспия он максимален. Напротив, в относительно холодных водах Среднего Каспия — зоне дейст-



Течения (их направление в мезомасштабных гидродинамических структурах показано красными стрелками) и распределение температуры в поверхностном слое Каспийского моря (июнь 2001 г.).

\* Предоставлен С.В.Востоковым.

\*\* Предоставлены Д.М.Соловьевым.



Распределение концентрации хлорофилла *a* и численности гребневиков *Mnemiopsis leidyi* в Каспийском море (июнь 2001 г.).

вия прибрежного апвеллинга (подъема вод с глубины к поверхности) — уровень биопродуктивности самый низкий. На снимках основной перенос органического вещества — из Южного в Средний Каспий. Теплые и богатые органикой воды северо-западной части Южного Каспия захватываются вихрем и перемещаются к северу.

Региональные различия температуры и уровня продуктивности в Северном, Среднем и Южном Каспии создают предпосылки для значительной пространственной неоднородности популяции мнемиипсиса.

В Северном Каспии в период исследований гребневик *Mnemiopsis leidyi* отсутствовал. В средней части моря он встречался преимущественно на западе (до 43°30'с.ш.). На востоке Среднего Каспия единичные особи обнаружены лишь южнее 40°30'с.ш. Это объясняется неблагоприятными для популяции температурными и кормовыми условиями в начале лета, которые усугубляются здесь активным проявлением прибрежного апвеллинга.

Анализ распределения и состояния популяции мнемиипсиса в Южном Каспии — ключевой момент для понимания сезонного цикла развития гребневика и механизмов его ежегодного расселения по акватории моря. На восточном шельфе региона отмечено возрастание численности с севера на юг. Популяция на востоке Южного Каспия относительно немногочисленна из-за развитого прибрежного апвеллинга, который проявляется севернее 39°с.ш. На одних и тех же широтах численность популяции мнемиипсиса в более холодных прибрежных водах на порядок ниже, чем в отдаленных от зоны апвеллинга глубоководных районах. Эта закономерность согласуется с уровнем развития фитопланктона. Южнее, где подъем холодных глубинных вод был выражен слабо или отсутствовал, различия в численности гребне-

виков между мелководной и глубоководной зонами шельфа незначительны. В центральной части глубоководья Южного Каспия над глубинами 700–750 м, в условиях видимого на спутниковых снимках цветения вод, обнаружена достаточно многочисленная популяция *Mnemiopsis leidyi*.

В шельфовых водах Южного Каспия, которые, как показывают космические снимки, — один из наиболее продуктивных районов моря, где численность гребневиков скачкообразно возрастала до максимального уровня. На западе региона, в противовес ситуации на востоке, мелководные районы шельфа отличаются большей их численностью, чем глубоководные. По направлению к Апшеронскому п-ову на север вдоль азербайджанского побережья количество гребневиков имеет тенденцию к снижению.

Таким образом, ясно, что в начале цикла массового развития популяции в Каспийском море размножение гребневика имеет очаговый характер. Очаги размножения в июле находятся в наиболее прогретых и высокопродуктивных водах на западе Южного Каспия, где идет активный промысел кильки [6]. Факторами, способствующими расселению в пределах западной части Южного Каспия, могут служить мезомасштабные динамические образования. Они четко проявляются на спутниковых снимках температуры поверхности моря и распределения хлорофилла, где прослежи-

ваются пути переноса фитопланктона и взвешенного вещества посредством течений и вихрей. Вовлечение части популяции гребневиков в циркуляцию мезомасштабных вихрей прибрежных вод служит механизмом их переноса в южную часть Среднего Каспия. Дальнейшее перемещение гребневиков на север может происходить в системе циклонического круговорота, существующего над Дербентской впадиной.

Выявленная связь интенсивности развития популяции с температурным режимом и уровнем биологической продуктивности позволяет использовать спутниковые данные о распределении температуры и фитопланктона для оперативного планирования исследований и прогноза развития мнемии в летний сезон.

\* \* \*

Несмотря на то, что внедрение спутниковых снимков в исследование Мирового океана показало свою эффективность, многие методы дистанционного зондирования морских акваторий требуют совершенствования.

Наиболее острая проблема — точное определение ряда океанологических параметров. Некоторые биопродукционные характеристики вычисляются на основе косвенных данных. В частности, концентрацию хлорофилла определяют на основе алгоритмов атмосферной коррекции и схем расчета отраженно-

го излучения, учитывающих спектральные показатели поглощения света различными компонентами морской органической взвеси, в том числе фитопланктоном. Сравнение значений содержания хлорофилла по спутниковым данным с высокоточными судовыми измерениями показало, что космическая информация нуждается в существенной верификации, а расчетные алгоритмы — в значительной коррекции [7].

Недостаточным для некоторых практических запросов остается температурное разрешение спутниковых снимков, составляющее 0.3–0.5°C. Оно слабо удовлетворяет, например, прогнозам для целей рыболовства. Невелика и точность измерения из космоса солености, которая не обеспечивает фиксации перепадов этого параметра на океанических фронтах. Значительные сложности представляет проблема определения качественного и количественного состава загрязнителей морских вод.

Решение этих задач может быть осуществлено как путем технологического совершенствования съемочной аппаратуры, так и на основе использования различных географических, в том числе картографических методов анализа спутниковой информации. ■

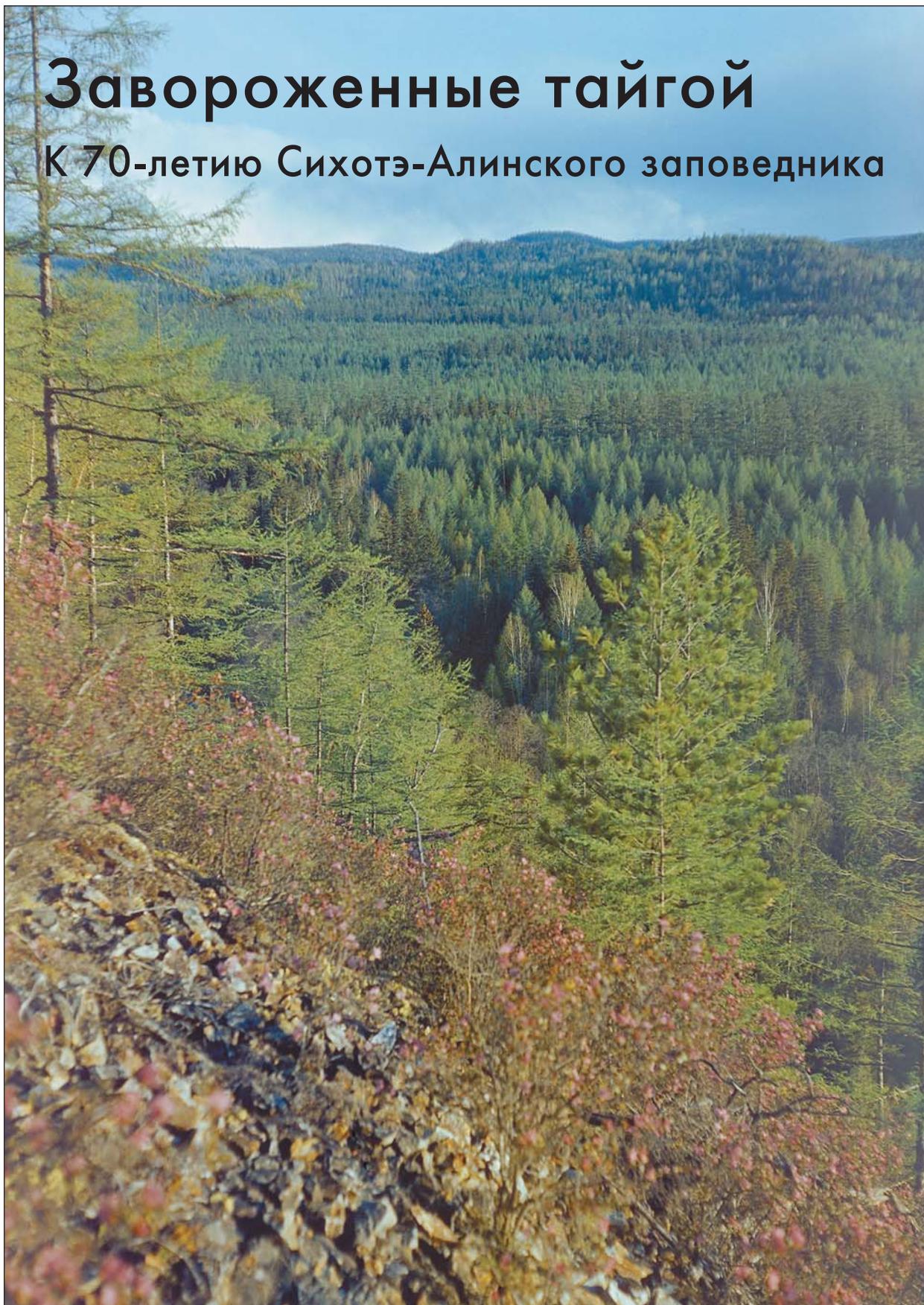
**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-05-64037.**

## Литература

1. *Зенкевич Л.А.* // Зоологический журнал. 1948. Т.27. №2. С.3–15.
2. *Ведерников В.И.* Особенности распределения первичной продукции и хлорофилла в Черном море в весенний и летний периоды // Изменчивость экосистемы Черного моря. Естественные и антропогенные факторы. М., 1991. С.128–147.
3. *Востоков С.В., Лисицын Б.Е., Коновалов Б.В. и др.* Мезомасштабная изменчивость концентраций хлорофилла *a*, взвешенного органического вещества и спектрального показателя поглощения света пигментами фитопланктона в поверхностном слое северо-восточной части Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. М., 2002. С.235–248.
4. *Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Булгакова Ю.В., Серобаба И.И.* // Океанология. 1995. Т.35. №4. С.569–573.
5. *Тарасов А.Г.* // Вестник Каспия. 2001. №5. С.120–126.
6. *Востоков С.В., Ушивцев В.Б., Лисицын Б.Е., Соловьев Д.М.* // Океанология. 2004. Т.44. №1. С.101–109.
7. *Лисицын Б.Е.* // Геоинформатика. 2003. №3. С.41–47.

# Завороженные тайгой

К 70-летию Сихотэ-Алинского заповедника



*Природа не для всех очей  
Покров свой тайный подымает:  
Мы все равно читаем в ней,  
Но кто, читая, понимает?*

Д.В.Веневитинов

Е.Н.Смирнов,

кандидат биологических наук

Сихотэ-Алинский государственный биосферный заповедник

**30**-е годы 20-го столетия. Страна бурлит. Мы строим коммунизм! Тысячи проблем. И сохранение природы занимает одно из престижных направлений. Именно в 30-е годы были созданы многие заповедники, прославившие Россию. Одним из них стал Сихотэ-Алинский. Экспедиция во главе с К.Г.Абрамовым обследовала огромную территорию уссурийской тайги, а 10 февраля 1935 г. Постановлением ВЦИК и СНК РСФСР был организован Сихотэ-Алинский заповедник на площади 1 млн га плюс 800 тыс. га охранной зоны. В то время он был самым крупным заповедником на планете!

Первым директором и стал Константин Георгиевич. Профессиональный революционер, большевик, ленинец, охотовед по образованию, отличный организатор, эрудированный человек, он быстро создал коллектив единомышленников. Из Москвы приехали Ю.А.Салмин, К.Я.Грунин, Л.Г.Капланов, Г.Ф.Бромлей, В.Д.Шамыкин — все опытные таежники и фанатики науки. Призвал на помощь местных таежников: В.Е.Спиридонова, Ф.А.Козина, И.Д.Попкова, Д.Е.Деревнина, А.Я.Куклина, М.А.Пенькова и др. На топографических картах заповедника значатся до сих пор имена этих и многих других людей в названиях ключей: Белобородовский, Дьячковский, Куклин, Денискин, Мартельевский, Латкин, Захаровский, Полчковский, Скоробогатовский. Пригласил поработать в заповеднике известных ученых — Б.П.Колесникова, А.И.Куренцова, Ю.А.Ливеров-

ского. И работа закипела. Ни границ, ни троп, ни избушек. Опубликовано два тома «Трудов» заповедника. Местные жители привыкли не браконьерствовать на заповедной территории.

Чтобы обогатить местную фауну, завезли американскую норку. Везли из Москвы, через всю Россию, и на каждой станции кормили свежей рыбой. Прижились иноземцы и до сих пор составляют важную статью охотничьего промысла Приморья.

В каких условиях приходилось тогда работать — можно узнать из писем и дневников Капланова. Из письма А.Н.Формозову: «<...> все маршруты мне пришлось проделать одному по малоизвестным верховьям Колумбе и Арму, не располагая сколько-нибудь удовлетворительными картами, имея тяжелую, до 30 кг, котомку за плечами, переправляясь через хребты и перевалы, через стремительные реки с ледяной водой, в жару, дождь, жестокие морозы и вьюги, терпя голод и бедствия, с отрывом от населенных пунктов на месяцы, унося весь запас и снаряжение на себе, часто без обуви и соответствующей одежды, испытывая трудности и лишения до пределов человеческих сил <...>. Работа в тайге проходит за свой риск и страх, без расчета на чью-либо помощь извне; приходилось полностью полагаться на свой опыт и знания. Возвращаясь из походов, я даже не имел места, где мог бы отдохнуть и работать <...> и все эти двадцать месяцев я провел, ночуя по баракам, лачугам, фанзам, крестьянским избам и добрую половину времени — в палатках и под открытым небом...»

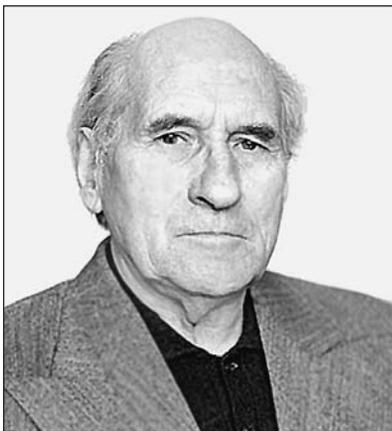


Константин Георгиевич Абрамов — основатель и первый директор заповедника.

Здесь и далее фото из архива Сихотэ-Алинского заповедника

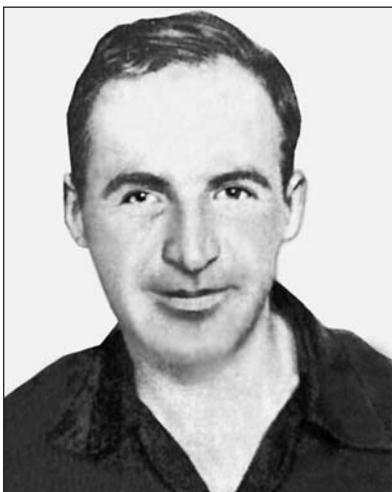


Юрий Алексеевич Салмин, один из первых таежников, приехавших в только что созданный заповедник. Погиб во время Великой Отечественной войны.



Георгий Федорович Бромлей. Как Салмин и Капанов, он приехал из Москвы изучать совершенно еще неизвестную уссурийскую тайгу. Основатель териологической школы на Дальнем Востоке.

Из дневника: «15—22 декабря — маршрут: Колумбе—Арму—Кема; 24 декабря 1937 г. — 31 января 1938 г. — поездка в Терней и пребывание в Поднебесном (отдых от сердечного переутомления); 1—6 февраля — Терней—Сяо-Кунжа—Кема; 6—13 февраля — экскурсия в Арму; 14—24 февраля — пребывание в Сяо-Кунже в “снеговом плену”; 25 февраля — прибытие в Ясную Поляну на лыжах».



Лев Георгиевич Капанов — первый тигровед в заповеднике. Убит браконьерами в Лазовском филиале.

Формозов: «Несколько дней он брел в глубоком рыхлом снегу, изнемогая от усталости и голода; бросил в пути все вещи и почти ползком добрался, наконец, до первого жилья. В этот раз он был на краю гибели, долго после этого болел и, сделав себе лыжи, вернулся на Ясную Поляну только через 20 дней. Вот что означают слова “лишения до пределов человеческих сил” и “пребывание в снеговом плену”» [1].

Снова письмо Капанова Формозову: «...11 марта вечером беспримерная в истории заповедника зимняя экскурсия успешно закончена. Почерневшие от весеннего горного солнца, месячной грязи и копоти после двадцати ночевок с ноodyми\*, заросшие уже не щетиной, а окладистыми бородами, вконец исхудавшие и утомленные, но счастливые, мы (Капанов и Козин) вышли на кордон устья Арму. Сквозная экскурсия с устья Колумбе до Сихотэ-Алиня и по Арму вниз до Имана, начатая месяц назад, завершена. Мы прошли по абсолютно пустынной и бездорожной части заповедника, пересекли его «сердце», покрыв по прямой, не считая боковых экскурсий, 360 км на лыжах и с котомками, имея на пути только две питательные базы — мои избушки, где я работал по лесу в верховьях Колумбе и в верховьях Арму. Чтобы обеспечить себе максимальную быстроту передвижения, мы не взяли с собой ни нарты, ни палатки с печкой и шли с ноodyми <...>

*Сквозь таежные дебри и чащи,  
По изгибам застывшей реки,  
Через сопки в глубокие долины  
Нас тигровые тропы вели».*

Капанова убили в 1943 г. браконьеры...

Пионеры Сихотэ-Алинского заповедника заложили прочный фундамент за пять лет, но грянула война... Охотников призвали

\* Ноody — особого рода костер для зимнего ночлега в лесу. Так же называются кражи и колья, необходимые для устройства костра.

в армию. Повезло зверью (за пять военных лет численность многих видов животных в заповеднике выросла)! Не все вернулись с войны. Салмин — снайпер — погиб. Надо начинать с начала.

Территория заповедника стала 1,8 млн га — охранную зону в 1943 г. сделали заповедной. Так решил Сталин. Местные начальники послали запрос в Правительство с просьбой разрешить рубку леса в заповеднике для военных нужд, а Сталин им ответил, что заповедник есть заповедник! И «пристегнул» охранную зону к заповедной.

И его же рукой в 1951 г. было подписано постановление о ликвидации нескольких десятков заповедников России, о сокращении территории Сихотэ-Алинского в 18 раз, до 100 тыс. га. Пути господни неисповедимы.

Шамыкин после войны сел за стол, поднял все материалы зоологов и обобщил в отчете «Млекопитающие Сихотэ-Алинского заповедника». И по сей день мы «пляшем от него, как от печки». Шамыкина забрали в Москву, в управление по заповедникам. Бромлея пригласили на должность заведующего лабораторией млекопитающих в Биологическом институте ДВО АН СССР. И под крылом Бромлея выросла плеяда прекрасных зоологов. Грунин уехал в ЗИН АН СССР и стал ведущим специалистом по двукрылым.

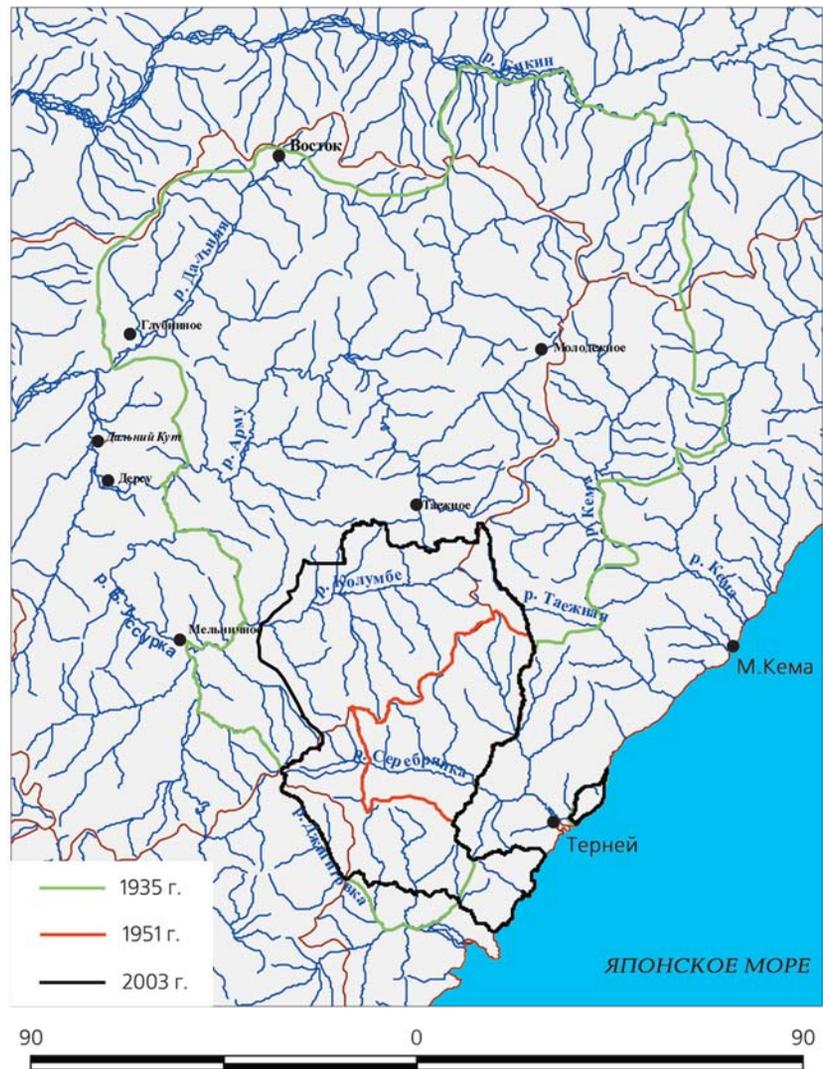
Умер Сталин. «Потепление»... Но в природоохранной деятельности его не было. «Догоним Америку по молоку и мясу!» Закрывать заповедники... Плохо в Управлении, плохо в заповеднике. Никто не знал, что ждет нас завтра. Тяжелые годы. Приехали новые бойцы. Задача номер один — увеличение территории. Сохранить то, что не успели вырубить и убить.

Началась новая эпоха для заповедника. Что делать? Как выжить? 10 лет шла война гражданская — за восстановление заповедной территории. Силы были неравные: на местах предла-

гали, Москва решала... И все-таки в 1961 г. площадь заповедника увеличена до 310 тыс. га. За этим решением стоят письма и судьбы многих заповедных бойцов. Леса повырубали, повыжигали, тигров не стало... Опять все начинай сначала... Новый директор — Ю.В.Купцов — начал с подбора кадров, собрал боевой коллектив, а через пять лет его как хорошего организатора и специалиста перевели в Москву, на повышение. Но начатое им успешно продолжили его последователи. Прорубили границы заповедника, тропы, поставили аншлаги, построили 40 таежных избушек, переправы и мосты через ключи и реки, десятки домов для сотрудников.

В сентябре 1963 г. я приехал в заповедник устраиваться на работу. За плечами биолого-почвенный факультет МГУ и год работы на море. Купцов-директор меня выслушал и отправил в «экспедицию», понюхать тайги. 71 км по дороге туда и столько же обратно. Нарисовал схему избушек: на 28 км — на кордоне в Усть-Серебряном, на 34 км — в Зимовейном, на 43 км — Дьячковском, на 57 км — в Красивом месте, на 71 км — в Лысогорке. И вперед! Сколько я повидал и испытал, это отдельная повесть. Но я прошел. И в ноябре меня приняли на работу. До сих пор здесь, хотя возможностей уехать было предостаточно. Тайга уссурийская завораживает, описывать ее пытались многие, но никто не ответил на вопрос, почему из нее никуда больше не хочется. Советский Союз я объездил вдоль и поперек, бывал в Японии, в Непале, в Африке, Америке, но уссурийская тайга, Сихотэ-Алинский заповедник стали родными. Не в обиду другим, кто любит свой дом на Камчатке, в Мещере или в Сахаре. Каждому свое. Не могу понять горожан. Проблемы, проблемы, болячки. Не спасают ни ванна, ни туалет, ни театры.

Первое, что меня обрадовало в Тернее, — это конюшня. В любое время лошади наготове. Вы-



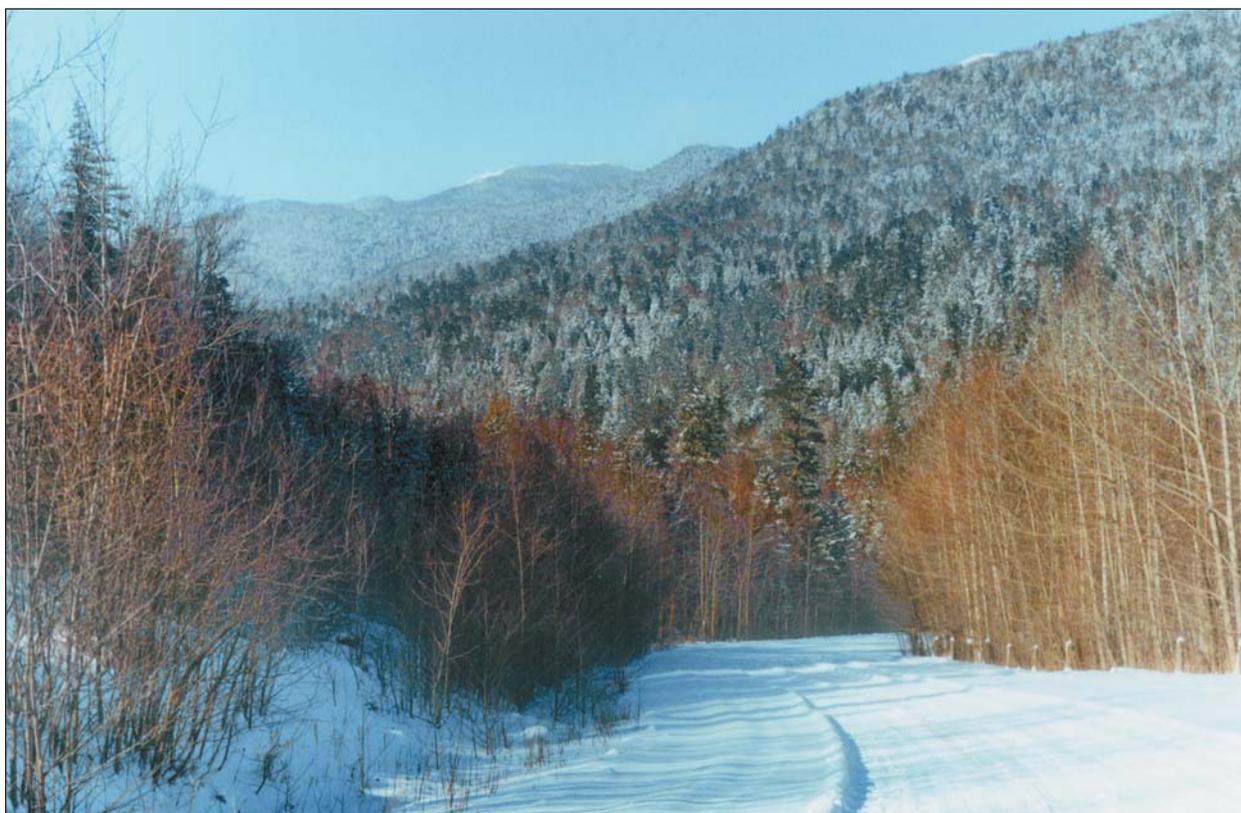
Границы заповедника в разные годы.

бирай какую хочешь! Еще и лесника в придачу, чтобы довез до места работы, а коня отвел в контору. Легко работалось, не то что с машинами сейчас: то бензина нет, то сломалась и запчасти днем с огнем не сыщешь, да и дороги только до первого кордона.

Второе — это уважительное отношение к молодому специалисту: и рабочее место тебе, и квартира в течение года, и всяческая поддержка.

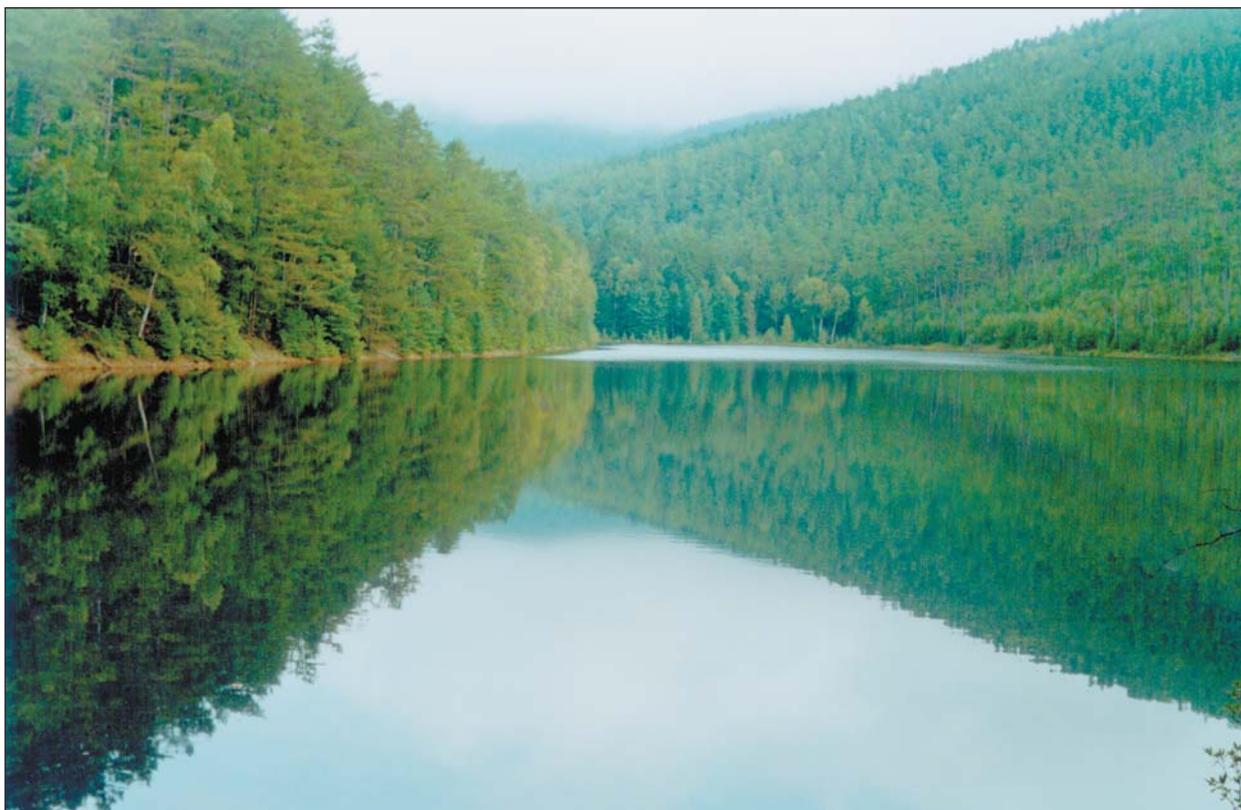
И третье — масса студентов-волонтеров и помощников. Из них и набирались кадры. Многие работают в заповеднике до сих пор. Оседают только фа-

натики и романтики. Про зарплату я молчу, меньше не бывает, но ведь еще и таежные походы. С рюкзаками, клещами, с дождями, с ночевками у костра. Если журналист летает, шагает, не спит из-за одной строчки в газете, то нам нужны «букашки», растеньица, следы. Свихнутые? Наверное, да. На таких и держится заповедник. А почему бы не открыть рубрику: «Кому за 30 (за 40)», в которой рассказывать о людях, отдавших 30 (40) лет своей жизни заповедному делу. Таких немало. Можно внести каждого в картотеку, включить в базу данных. Заслуги неоспоримы. Будь то лесник, ди-



Тайга в красочном осеннем наряде и зимнем убранстве.

Фото И.В.Середкина



Озеро Царское.

Фото И.В.Середкина



Кедрово-пихтовый лес.



Амба, хозяин тайги.

ректор, научный сотрудник или лаборант. Они сделали все, что могли, чтобы сохранить заповедную природу.

Коротко расскажу о нескольких ветеранах (далеко не всех) Сихотэ-Алинского заповедника.

**Денис Евстафьевич Деревнин.** Семья переехала в Приморье из Сибири в 1912 г. Денису было два года. Всего у Деревниных родились восемь сыновей и две дочери. Трудно жили, но на ноги встали все. Денис был славным охотником и следопытом. В тайге как дома, компас в голове, если раз прошел, тропа ему знакома. Участвовал в первой экспедиции под руководством Абрамова для выбора территории под Сихотэ-Алинский заповедник. Выпускал американских норок и следил за их расселением. Следопытом он был от Бога. Но пришла война и всех раскидала. Многих братьев забрали в армию, дошли до Берлина. Дениса оставили охранять границу, добывать мясо и ловить рыбу. Отправили на Сахалин. После войны он вернулся и вновь устроился на работу в заповедник.



Денис Евстафьевич Деревнин — лесник, в заповеднике со дня его основания. Проработал больше 30 лет.

Без тайги он жизни не представлял. Так и дослужился до пенсии. Потом ослеп, но в тайгу продолжал ходить. Его сын натянул канат, и Денис ходил, ориентируясь по нему, ставить и проверять капканы, за водой. Варил обед, обрабатывал пушнину.

Именно он научил меня ходить по звериному следу, правильно ставить капканы и быть в тайге как дома. Он всегда говорил: «И чему вас только учат в этих университетах?» Прорубая тропу, никогда не трогал молодую кедровку, обходил стороной. Никогда не убивал кедровку, чтобы положить ее на приманку. Никогда не ловил рыбы больше, чем надо на уху или жареху. Никогда не сидел без дела. «Пойду посмотрю, какой зверь прошел», — и приходил лишь к вечеру. Таких бы учителей побольше. А как он ходил на камусных лыжах\*! Уму непостижимо! Спускался с любой крутой сопки за пять минут. Ждал меня и веселился, как я постоянно делаю лежки.

**Иван Иванович Самаркин.** Не лесник, а легенда. Отличный охотник. Молодым ушел на войну. Отморозил ноги в Сталинграде и попал в госпиталь. Демобилизовали. Куда идти? Пошел в тайгу, в заповедник, лесником. «Ходить могу, следы читать умею, руки на месте, мозги работают, что еще надо?» Дали ему коня — совсем хорошо. Приобрел телегу — и на свой участок, на Шандуйские озера. Конь Егренька был обучен останавливаться у каждого бревна, которое сгодится на дрова. Конь бредет, Иван Иванович дремлет в телеге, конь остановился — все ясно: дрова. На зиму хватало. Съели тигры и Егреньку, и собаку. Как-то пришли к нему в гости ботаники. По дороге много раз, встречая двух-трехметровый в диаметре тополь Максимова, охали, вздыхали, измеряли. Иван Иванович слушал молча. А вечером приготовил им блины на огромной сковороде. «Блины

\* Лыжи, подбитые шкурой с ног изюбря.



Иван Иванович Самаркин. Проработал лесником более 30 лет.

Максимовича», — сказал им. После ухода на пенсию мы по праздникам его навещали. Он больше лежал, ноги болели. Когда мы заходили, он обычно приветствовал: «О! Традиция пришла! Гулять будем!» Мы пили водку, а он шампанское. И вспоминали минувшие дни. Он был изумительным рассказчиком. Малограмотный, а говорил красиво, и на любую тему. Не зря его любила Марфа. Иван Иванович изредка ругал женщин, но при этом обязательно добавлял: «Моя Марфа не такая». Любил играть на балалайке и петь частушки. Душа компании, прекрасный следопыт и таежник, без дела не сидел — трудоголик. Если в избушке мыши, он их не пугал, не гонял, не ловил. Продукты подвешивал, чтобы мыши не достали, пятки смажет керосином — и спать на нары. И гнус его почему-то не кусал. На покосе все отмахиваются, чешутся, а Иван Иванович знай косой помахивает. Рядок пройдет, вытрет пот и пошел следующий. На своем участке построил одну избушку, вторую, прорубил тропы. Прозвали его участок владением Царя Шандуйского, а самое большое озеро называли Царским. Так и до сих пор. В избушке есть тетрадь, где все отмечают и слагают

стихи, кто как может. Вот один пример:

### **Дворец Шандуйского Царя**

*Чтоб поддержать традицию,  
Начну стихов страницу я.  
Друзья! По чести говоря, дворец  
Шандуйского царя  
Прекрасней всех других дворцов  
Миллионеров и купцов,  
Султанов, шахов, королей,  
Великих и простых князей  
И прочих мироедов.  
Храня обычай наших дедов,  
Нам Царь, почтеннейший Иван,  
Построил здесь дворец без ванн,  
Колонн, кариадид и лоджий,  
А также мест отхожих,  
Считая справедливо,  
Что это все не диво.  
А диво то, что во дворце  
Любого встретят на крыльце  
Бурндуки и белки  
И просто без пристрелки  
И без дискриминации,  
Не спрашивая нации,  
Чинов, пропуски и награды,  
Других вопросов длинный ряд  
(Зверьки — не бюрократы),  
Проводят Вас в палаты.*

П.Ошмарин

**Владимир Александрович Соломатин.** Москвич. Отслужил в погранотряде Лазовского р-на Приморского края. В восторге от уссурийской тайги. Отработал охотоведом на Ямале. Два года работы, два года раздумий... и написал письмо в Лазовский заповедник с просьбой взять на работу.

С 1966 г. — в Сихотэ-Алинском заповеднике. Лесником, егерем, инспектором. Маршруты — дежурство, маршруты — учеты. Пришло время — «замуж» пора. А ему все некогда, вечно в тайге. Нашли ему невесту, вроде все хорошо, а перед свадьбой он сбежал в тайгу. Выловили. Поженили. Два сына выросли. Старший — начальник метеостанции в пос.Агзу — что в верховьях р.Самарги. Младший — учитель географии и биологии там же. Недавно погиб...

И до сих пор Владимир работает в заповеднике инспектором. Вечно в тайге, вечно в дви-

жении, вечно молодой и энергичный. По ночам пишет дневники (полевые не в счет), и их у него уже за 20 бухгалтерских томов. Есть там такой отрывок:

«Смирнову Евгению, главному тигрятнику, к дневнику в дополнение от Соломатина.

*...Показалось, что с арены,  
Что из клетки зоопарка  
На тропе возник  
Мгновенно  
Предо мной!  
Мне стало жарко.  
Головастый. Длинный-длинный.  
Брюхо по снегу волочит.  
И трясет хвостом.  
Видно, оттого,  
Что кушать хочет.  
Я читал — он не опасный.  
Говорят, — не нападает.  
Только мне одно не ясно:  
Он — читал?  
Он это знает?*

*Вмиг представил я картину  
До обидного простую:  
Превращаюсь в давлению  
На подходе к Усть-Шандую...  
Я рванул, как на форсаже,  
Без тропы и без оглядки.  
Ног своих не чуял даже,  
Хоть душа стучала в пятки.  
А в избушке в тот же вечер  
Вспоминал я с напряженьем,  
Что я видел? Как отвечу  
На твои вопросы, Жень?  
«Возраст, пол, размеры тела,  
В дневнике ты все отметил?»  
Знаешь, Жень, такое дело —  
Ничего я не заметил.  
Извини за то, что скудны  
В дневнике все наблюденья,  
Любовался этим чудом  
Я чуть больше, чем мгновенье.  
Я рванул, как на форсаже.  
Без тропы и без оглядки,  
Ног своих не чуял даже  
И душа стучала в пятки».*

Сколько прочел книжек, он и сам не знает. Детство провел в Ленинской библиотеке. Память у него необыкновенная: раз прочел и запомнил. Может по многу часов читать (на память) стихи великих и не очень известных поэтов. Спать не даст, это точно. Не зря его некоторые зовут «ходячая библиоте-

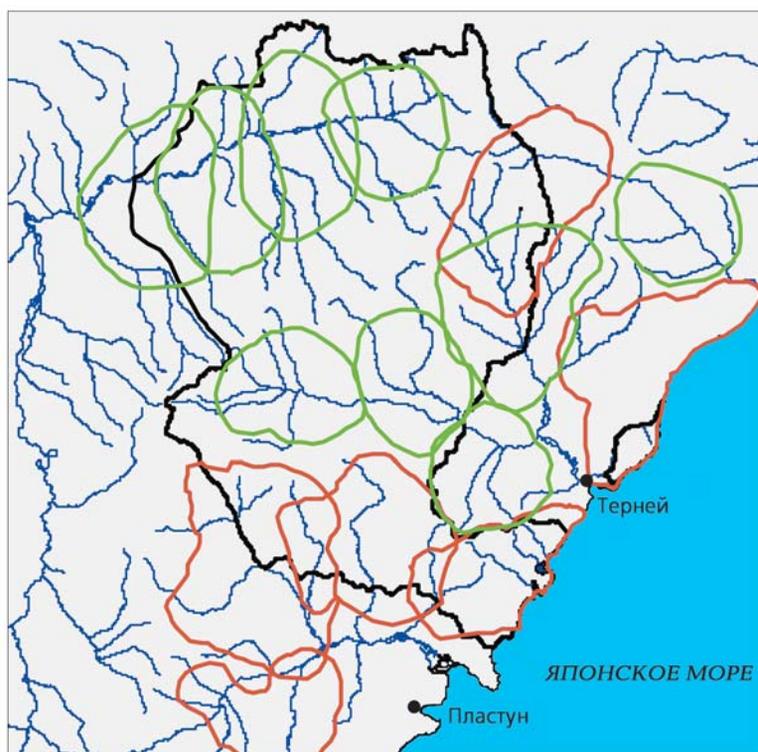
ка». Рыбак отменный, без рыбы не приходит. В любую погоду. Тайга — его дом. Заповедник — монастырь. Служит безотказно.

**Виктор Анатольевич Воронин.** В 1973 г. приехал из Ленинграда, бросив учебу на третьем курсе факультета теории и истории искусств в Институте живописи, скульптуры и архитектуры им.И.Е.Репина. Почему? Версии разные. Художник от Бога, но тайга пленила. Она — богаче, она не подведет, она бесконечна. Каждый лист, травинка, птичка, зверь, встреча с ними — удивительна и дает огромнейший заряд энергии. Вот только браконьеры... И иногда начальство... чего-то не понимают...

Были у Виктора и девочки. Студентки. Тоже чего-то не понимают, в Тернее жить не хотят. Так и остался холостым. Заповедник — судьба, работа. Каждый день — походы-обходы, новые впечатления, заполнение дневника, эскизы. Обожают фотографировать. Может часами выслеживать и наблюдать зверя или птицу, чтобы сделать один-два удачных кадра. Только у него есть великолепные фотоснимки амурских тигров в природе. Многие из них обошли журналы всего мира. Вот несколько строчек из статьи Воронина «Когда тигр отдыхает»:



**Виктор Анатольевич Воронин,** инспектор лесной охраны. Ходит на тигра с фотоаппаратом.



— граница заповедника

Индивидуальные участки тигриц:

— меченых

— немеченых

Индивидуальные участки тигриц.



Тигр на морском берегу.

Фото В.А.Воронина

«Тигр остановился, приоткрыв пасть и, пристально глядя прямо мне в глаза, сделал еще шаг и стал медленно ложиться в позу сфинкса. Не отводя от меня взгляда, тигр осторожно опустил голову к лапам, стараясь, как мне показалось, остаться незаметным, хотя скрыться было совершенно негде. Мне же все это время очень мешало небольшое дерево, которое пересекало кадр наполовину, и я рискнул сделать небольшое движение влево, чтобы снять зверя без помех. Как только он отвел взгляд и отвернул голову в сторону, я переместился влево, с опозданием сообщая, что делаю это зря. С громким рыком тигр прыгнул вправо к ложбине, где когда-то лежал на снегу, прыжками проскочил ее за какую-нибудь секунду-две и исчез за ближайшей из скалок...» [2].

Коли зашел разговор о тиграх, невозможно не сказать пару слов об американцах. Так уж случилось, что с 1992 г. начался совместный российско-американский проект «Амурский тигр» в нашем заповеднике [3]. Тигров отлавливали, надевали радиолокаторы и два с половиной года ежедневно следили по радиосигналу. Получили много новой информации о жизни этих кошек, написали несколько научных статей и десятки рекомендаций о сохранении амурских тигров. Американцы-зоологи работали вместе с нами. Всегда их впечатления самые-самые... Некоторые нашли себе русских жен и увезли с собой в США. Некоторые остепенились здесь. Родились Дэвид Михайлович и Артем Бартович. Жизнь и исследования продолжаются, а заповедник — родной дом теперь и для американцев. Вот выдержки из писем американских друзей, коллег по работе:

*«Я скучаю много тебя и Росси и тигри. После я обратная аласка, работа был много политическа и очен не много биолог. Мы ест большой проблем час слишком много волки и пачти нет лось. Конечно, это большой проблема, пачти кажи ден у миня ест губернатор, разговариват <...> Может быт я нужно обратная в Терней?»*

Главный охотовед Аляски  
Джек Уитмен

*«Спасибо за ваш символ. Всегда хорошо получить известие от Вас <...> я использую компьютерную программу, которая транслирует Английский язык в Русского.*

*Мы прекрасны. Мы имеем три собаки теперь и когда они здоровы, я обучаю их каждый день. Они могут уже идентифицировать различную разновидность, но они все еще нуждаются в множестве тренировки прежде, чем они будут готовы идентифицировать индивидуальных тигров. Я хотел бы иметь нос подобно собаке в течение одного дня, чтобы видеть то, чему это является.»*

Линда Керли

Все такие разные, но стержень один — любовь к Тайге. Она у нас богатая: гари, мари, морское побережье, кедрячи, глухие ельники, реки, ключи, озера... И везде они побывали. По тропам и без троп, в дожди и в снегах, на лыжах и без оных. На учетах и на пожарах. Все видели своими глазами. Получали мизерную зарплату, содержали семью, воспитывали детей. И остались верны первой любви. Каждый поход — новые впечатления, новые знания, новая тетрадь, новая картина, новые рассказы. Жизнь продолжается.

Благодаря труду подобных людей и держатся заповедники.

Дай Бог всем этим людям здоровья!

Было много волка в заповеднике — не стало. Не было тигра — появился. Увеличилось число горалов, пятнистых оленей, меньше стало лося и кабарги. Откуда мы все это знаем? Из книги «Летописи природы», из отчетов, из дневников сотрудников. Раньше не было инспекторов, егерей, были лесники-наблюдатели. Истинные герои заповедника — не кедры и не тигры, а те, кто посвятил свою жизнь их охране и изучению. Лозунг у всех один: «Не навреди! Сохрани!»

Спасибо вам, люди!

Сегодня площадь заповедника составляет 401 428 га, из них 2900 га морской акватории и плюс 65 250 га охранной зоны. 70 лет заповедника — детство. Работы хватит и внукам, и правнукам. Лишь бы снова не начали перекраивать и отрезать куски, не превратили бы его в нечто другое. Организован государственный заповедник, прочерчены границы, изъяты земли из хозяйственного использования — НАВЕЧНО! Никаких царских охот, горнолыжных курортов, отелей и мотелей, рубок и рудников!!! Так делается во всем мире. Только у нас уникальные камчатские гейзеры открывают, закрывают, снова открывают... Уникальное озеро Байкал... сколько борьбы за его сохранение. Примеров безобразного негосударственного отношения к заповедникам тысячи. А их всего сто, менее 2% территории России. Вряд ли найдется другая страна, где и того меньше. Пришло время вписать две строчки в Конституцию и четко обозначить, что государственные заповедники являются достоянием страны — природными музеями и не подлежат закрытию или сокращению территории ни при каких обстоятельствах! ■

## Литература

1. *Формозов А.Н.* Памяти Л.Г.Капанова // Капанов Л.Г. Тигр, изюбрь, лось. М., 1948. С.4.
2. *Воронин В.А.* // Охота и охотничье хозяйство. 1980. №12. С.21.
3. *Смирнов Е.Н.* Амурского тигра нельзя не сохранить // Природа. 2001. №1. С.41—50; №2. С.47—56.

# Заметки и наблюдения Катастрофический паводок Иркута

А.А.Щетников,

кандидат геолого-минералогических наук

Институт земной коры СО РАН

Иркутск

Название реки Иркут заимствовано у бурят, которые называли ее Эрхэ — капризная, что очень метко отражает ее нрав. Минимальный расход в устье этой реки не более 20 м<sup>3</sup>/с, а максимальный порой достигает 4800 м<sup>3</sup>/с, т.е. она может увеличиваться в 240 раз! Придя однажды на ее берега в районе Иркутска, можно подумать, что не она впадает в Ангару, а наоборот.

Иркут берет свое начало в восточной части Восточного Саяна, в горном озере Ильчир, которое покоится на высоте 1952 м, впадает в Ангару на высоте 424 м, в 60 км от ее истока из Байкала. Длина водотока составляет 490 км, площадь водосбора — 15000 км<sup>2</sup>, средний годовой расход в приустьевой части — 207 м<sup>3</sup>/с.

Иркут дренирует большую часть Юго-Западного Прибайкалья, центральный элемент которого — Тункинская рифтовая долина в обрамлении живописных Тункинских Гольцов и Хамар-Дабана [1]. Расчлененность рельефа речного бассейна препятствует одновременному снеготаянию на всей площади водосбора. Весна здесь затяжная и половодье невысокое, но продолжительное, постепенно переходящее в летние дождевые паводки, нередко разрушительной силы. Характерная особенность гидрологического режима Иркута — очень быстрое перемещение паводковой волны.

После сравнительно сухой поздней весны в июле—августе на юге Восточной Сибири усиливается деятельность циклонов, обуславливающая выпадение дождей обложного типа. После основного холодного фронта наступает непродолжительное затишье, затем приходят вторичные фронты, увеличивающие количество осадков, выпадающих уже на переувлажненную почву. И реки выходят из берегов.

Одновременные дожди почти на всей площади водосборного бассейна и большие уклоны тальвега реки (1528 м на 490 км протяженности Иркута) обеспечивают быстрое движение паводковой волны. Ее пробег, к примеру, от пос.Зун-Мурин до пос.Смоленщина (нижние 200 км реки) в среднем составляет 24—28 ч.

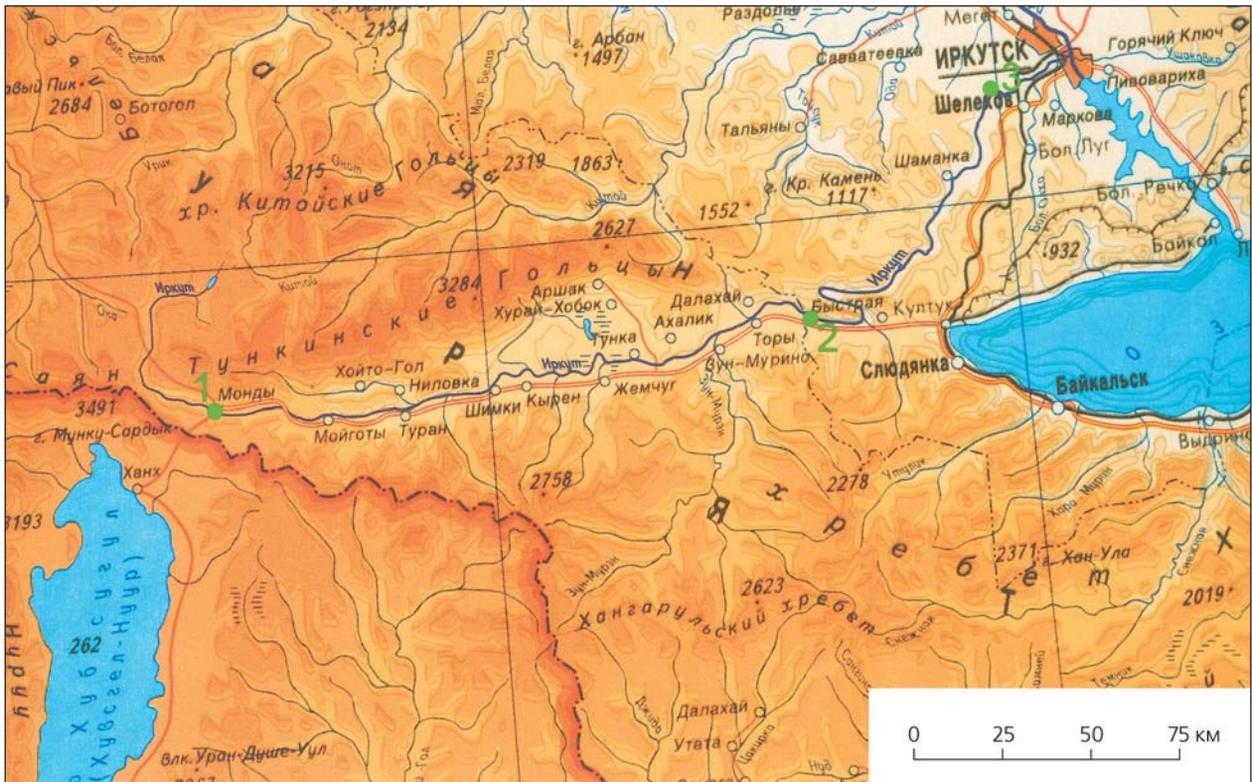
В строении рельефа бассейна Иркута существует одна особенность, также имеющая отношение к условиям формирования максимальных расходов этой водной артерии. Днище Тункинского рифта состоит из ряда ступеней, соответствующих впадинам, и постепенно понижается на восток. Между собой впадины разделены низкогорными перемычками, которые Иркут прорезает узкими антецедентными (возникшими ранее прорезаемых ими возвышенностей) долинами [2]. Глубоким ущельем река пропиливает и борт Тункинского рифта, покидая его пределы. Во впадинах она свободно извивается,

имеет спокойный равнинный характер, однако, попадая в антецедентные участки долины, обретает спрямленный плановый рисунок, скорость течения существенно возрастает. Именно в отрогах наблюдаются резкие перегибы тальвега Иркута.

Во время крупных паводков перед такими резко сужающимися участками скапливается большой объем воды. Возникают своеобразные заторы. Водная масса с огромным напором проходит через антецедентные теснины. Накапливающаяся энергия способствует быстрому прохождению паводковой волны по равнинным участкам долины. Такое явление близко кумулятивному эффекту в формировании селей Прибайкалья [3].

Заметим, что среди восточносаянских рек бассейна Ангары Иркут — не самая большая, однако дождевые паводки на ней самые многоводные. Например, одна из крупнейших рек бассейна — Ока — имеет площадь водосбора 33 400 км<sup>2</sup> (т.е. в 2.2 раза больше, чем у Иркута), средний годовой расход в приустьевой части 238 м<sup>3</sup>/с и максимальный расход за весь период инструментальных наблюдений 2860 м<sup>3</sup>/с (т.е. в 1.7 раза меньше, чем у Иркута).

Кроме того, и сама Ангару в августе 1971 г., когда наблюдался наибольший сток рек юга Восточной Сибири, имела расход в створе Иркутской ГЭС около 4010 м<sup>3</sup>/с (при максимально допустимом, по условиям состояния нижнего бьефа, —



Бассейн р.Иркута. Гидрометеопосты: 1 — Монды, 2 — Тибильти, 3 — Баклаши.

4300 м<sup>3</sup>/с). Да, безусловно, ангарский сток был уже зарегулирован, и вряд ли корректно проводить такое сравнение. Однако инструментальные наблюдения проводились здесь с 1888 г. — задолго до строительства ГЭС. (Напомним, что Иркутская ГЭС — первая в ангарском каскаде гидроэлектростанций — была принята в промышленную эксплуатацию в сентябре 1959 г.) В сентябре 1932 г. на Ангаре наблюдался максимальный дождевой паводок. На водпосту с.Пашки, расположенном примерно в 30 км от истока Ангары, был зафиксирован максимальный расход воды — 4940 м<sup>3</sup>/с (при среднем 2870 м<sup>3</sup>/с), т.е. ненамного больше максимального зарегистрированного расхода Иркуты. Сведения о расходе воды Иркуты в том году, к сожалению, отсутствуют.

Среди дождевых паводков Иркуты особо выделяются паводки 1785, 1869, 1971 и 2001 гг.

О первых двух имеются лишь отрывочные сведения [4–6], последние детально документированы.

Паводок первого года третьего тысячелетия был не многоводнее предыдущего (1971),

но обладал особой разрушительной силой. Разбушевавшаяся стихия не только оставила без жилья людей, но и нанесла сокрушительный удар по инфраструктуре Тункинского Прибайкалья, на долгое время парали-



На размытых участках дороги в районе харадабанского сужения долины Иркуты все еще ведутся восстановительные работы. Август 2002 г.

Фото автора



Разрушенный мост через р.Иркут в пос.Монды.

Фото Е.М.Высоцкого

зовав дорожное сообщение с другими горными районами.

Между Мондинской и Хойто-гольской котловинами Иркут пропиливает антецедентной долиной Харадабанскую между-впадинную перемышку. По днищу этого ущелья проходит един-

ственная автомобильная дорога, по которой можно попасть в пос.Монды и далее на северо-запад, в крупный районный центр Орлик. В отдельных местах долина настолько сужается, что русло Иркуты занимает практически все ее днище. Здесь

дорожная насыпь, примыкающая к крутым склонам, стесняет русло реки. Паводок расчистил первозданный путь водотока, смыв в общей сложности более 2 км дороги, да таким образом, что интенсивные восстановительные работы шли здесь почти 3 мес.

Ниже по течению, уже на равнинном участке долины у с.Мойготы, Иркут, резко сместив свое русло к югу, также подмыл автомобильную магистраль. В приустьевой густозаселенной части бассейна паводковой водой покрылась огромная территория. Подтоплены были и пригородные поселки у Иркутска (Введенщина, Баклаши, Смоленщина и др.). Сам город не пострадал.

Разрушительные паводки отмечались и на притоках Иркуты. Ихе-Ухгунь (левый приток Иркуты) в двух местах размыва дорогу из санаторного поселка Нилова Пустынь в пос.Хойтогол.

Участок этой автомобильной дороги от Ниловского отрога до главной магистрали проходит

Таблица

Характеристика дождевого паводка р.Иркут 2001 г.

| Пост<br>Дата  | Монды      |                            |                   | Тибилги    |                            |                   | Баклаши    |                           |                   |
|---------------|------------|----------------------------|-------------------|------------|----------------------------|-------------------|------------|---------------------------|-------------------|
|               | осадки, мм | уровень воды, см (1291.9*) | расход воды, м³/с | осадки, мм | уровень воды, см (657.99*) | расход воды, м³/с | осадки, мм | уровень воды, см (440.0*) | расход воды, м³/с |
| 30.VI         | —          | 37                         | 15.7              |            | 149                        | 138               |            | 219                       | 150               |
| 01.VII        | 20         | 46                         | 19.7              | 93.2       | 191                        | 230               | 28         | 288                       | 409               |
| 02.VII        | 8          | 42                         | 17.3              | —          | 263                        | 426               | —          | 320                       | 609               |
| 03.VII        | —          | 43                         | 18.3              | 26         | 200                        | 253               | 7          | 312                       | 555               |
| 04.VII        | 1          | 50                         | 21.6              | —          | 186                        | 217               | —          | 287                       | 404               |
| 05.VII        | 10         | 43                         | 18.3              | 11         | 192                        | 233               | 12         | 265                       | 292               |
| 06.VII        | —          | 152***                     | 125               | —          | 198                        | 248               | —          | 267                       | 302               |
| 07.VII        | 29         |                            |                   | 79.7       | 294                        | 520               | 101        | 295                       | 408               |
| 08.VII        | 24         |                            |                   | 11         | 619                        | 1740              | 21         | 520                       | 2080              |
| 09.VII        | 1          |                            |                   | 2          | 574                        | 1560              | 1          | 567                       | 2830              |
| 10.VII        | —          |                            |                   | —          | 453                        | 1070              | —          | 494                       | 1840              |
| 11.VII        | 1          |                            |                   | —          | 349                        | 692               | —          | 404                       | 1190              |
| 12.VII        |            |                            |                   |            |                            |                   | —          | 359                       | 874               |
| 13.VII        |            |                            |                   |            |                            |                   | —          | 333                       | 697               |
| 14.VII        |            |                            |                   |            |                            |                   | —          | 316                       | 582               |
| Наибольший**: |            | 289                        | 449               |            | 644                        | 1840              |            | 585                       | 3300              |

\* Нулевая отметка поста, м.

\*\* Наибольший (дополнительный) показатель за время измерений с 30.06.01 по 14.07.01.

\*\*\* Подчеркнуты показатели собственно паводка.

по низкой заболоченной пойме Иркутка в Туранской котловине. Дорожное полотно дороги насыпью приподнято над поверхностью поймы почти на 3 м. Во время паводка насыпь сыграла роль дамбы, сдержав его натиск. Лишь в одном месте вода перелилась через дорогу, смыв несколько десятков метров покрытия. Благодаря этой дамбе были спасены жилые дома. По другую сторону дороги дома стояли в воде по крышу.

Характеристика паводка 2001 г. приведена в таблице, составленной по материалам Иркутского метеоагентства. В некоторых комментариях нуждаются показания Мондинского гидрометеопоста. Во-первых, обращает на себя внимание сравнительно малое количество атмосферных осадков, выпавших во время паводка. Дело в том, что их годовое количество в днище Мондинской межгорной котловины (самой «сухой» в Тункинском Прибайкалье) не превышает 300 мм. За несколько дней здесь выпала треть годовых нормы. Вообще, в днищах депрессий Тункинской долины выпадает существенно меньшее количество осадков, чем в их горном обрамлении [7]. Во-вторых, 7 июля Мондинский гидрометеопост, не выдержав мощного напора паводка, частично разрушился, поэтому данные об уровне и расходе воды Иркутка приведены лишь по первому дню.

Кроме гидрометеопоста в поселке Монды, стихия уничтожила несколько жилых домов и железобетонный мост, выдержавший крупнейший паводок 1971 г. Мостовые пролеты быстро забились влекомыми рекой стволами деревьев и бревнами.



Паводковые песчаные отложения на уступе 8-метровой правобережной террасы Иркутка в районе впадения в него р.Хурумы.

Фото автора

Возникла своеобразная плотина, которую Иркут прорвал на второй день.

В Тункинской долине уровень подъема Иркутка еще долгое время можно было узнать по характерным серым илистым осадкам и влекомым рекой веткам, траве и др., осевшим на подтопленных деревьях и хозяйственных постройках. В стесненных участках долины Иркут обозначил максимальный уровень подъема воды узкими террасками, сложенными хорошо сортированными песчаными отложениями мощностью до 1.5 м.

Катастрофический паводок на Иркутке 2001 г. принес не только бедствия. Буйство стихии обнажило, в прямом и переносном смысле, секреты природы Тункинского Прибайкалья. Стали доступны для непосредственного изучения новые разре-

зы отложений террасового комплекса долины Иркутка с погребенными горизонтами органического материала. Недалеко от впадения в Иркут р.Хурумы в цоколе 6-метровой первой левобережной надпойменной террасы Иркутка был вскрыт ранее затаенный склоновыми отложениями древний, заполненный валунно-галечным аллювием эрозийный врез, глубина которого сопоставима с современным врезом реки в террасу.

Кроме того, мы получили возможность узнать и изучить новые опасные свойства Иркутка, подготовиться к возможному проявлению его капризного нрава в будущем. ■

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 03-05-64898.**

Заметки и наблюдения

## Литература

1. Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А. Тункинский рифт // Природа. 2003. №8. С. 43—49.
2. Щетников А.А., Уфимцев Г.Ф., Сквитина Т.М. // География и природные ресурсы. 1997. №4. С.86—95.
3. Агафонов Б.П. // Геоморфология. 1996. №2. С.27—36.
4. Орлов А.П. // Известия СО РГО. 1871. Т.2. №1—2. С.30—46.
5. Пежемский П.И., Кротов В.А. Иркутская летопись // Тр. ВСОРГО. 1911. №5.
6. Романов Н.С. Иркутская летопись // Тр. ВСОРГО. 1914. №8.
7. Жуков В.М. Климат Бурятской АССР. Улан-Удэ, 1960.

# Самозащита деревьев на сыпучих песках

Б.П.Агафонов,  
доктор географических наук  
Институт земной коры  
Иркутск

В геоморфологических экспедициях на берегах Байкала не раз приходилось видеть и фотографировать деревья, растущие на сыпучих песках, при ураганных ветрах, достигающих скорости 40–50 м/с. Одни из них под напором воздушных потоков и песков изгибаются, наклоняются и погибают, вторые, часто соседние и того же вида, — активно защищаются и с трудом, но выживают, третьи же вопреки стихии постепенно укрепляются, модифицируются и даже разрастаются, продолжая благополучно жить.

Таких экземпляров мало, они представляют несомненную эстетическую и научную ценность, поэтому им требуется особая, первоочередная охрана от вырубки. Это в основном сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), реже — лиственница сибирская (*Larix sibirica*). Известно, что эти виды из-за большой индивидуальной изменчивости имеют множество морфологических и экологических форм и разновидностей. Не ставя перед собой задачи проникнуть в тонкости приспособления деревьев к условиям среды, постараюсь рассказать о том, что видел собственными глазами

Иногда заметно, что, стремясь избежать гибели, деревья

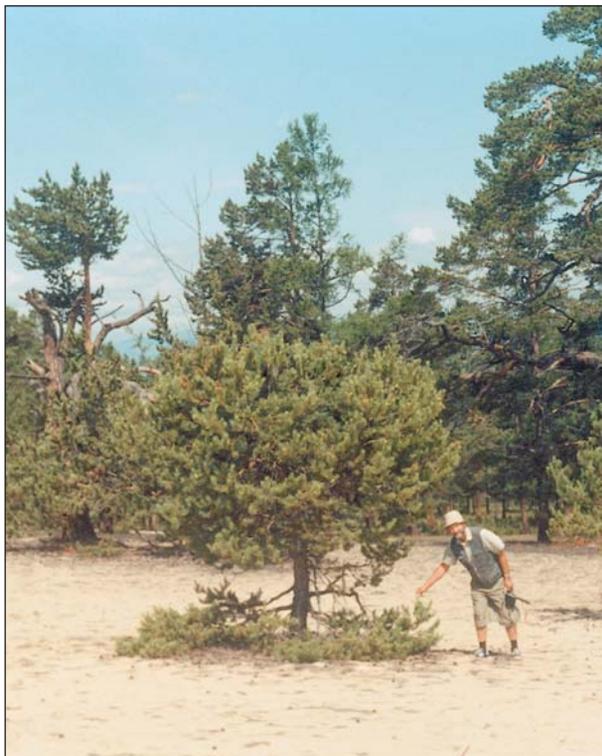


Вековые сосны на о.Ольхон предельно наклоняются и нередко выворачиваются из земли с корнями.

Здесь и далее фото автора

начинают неожиданным образом отгораживаться собственными, сначала нижними, ветвями. С высоты 2–3 м эти ветви нередко направляются круто вниз и плотно прижимаются к земле, и дерево опирается на них при раскачивании ветрами. Если нижних ветвей мало, в ход идут и более высокие, которые причудливо, словно змеи, повисают на таком висловетвистом дереве.

Когда нижних ветвей достаточно, и они, пригнувшись к земле, создают надежный плотный шлейф вокруг ствола, то выше расположенные ветви растут как обычно. Если стелющиеся по земле ветви задерживают опад и переносимый ветром мелкозем, частично присыпаясь им, вырастают новые стелющиеся побеги. Таким образом шлейф разрастается и достигает



«Заякорившаяся» сосна, отгородившая себя нижними ветвями от губительного действия эоловых процессов. Сарайский залив на о.Ольхон.



Висловетвиная сосна — редкий памятник природы.

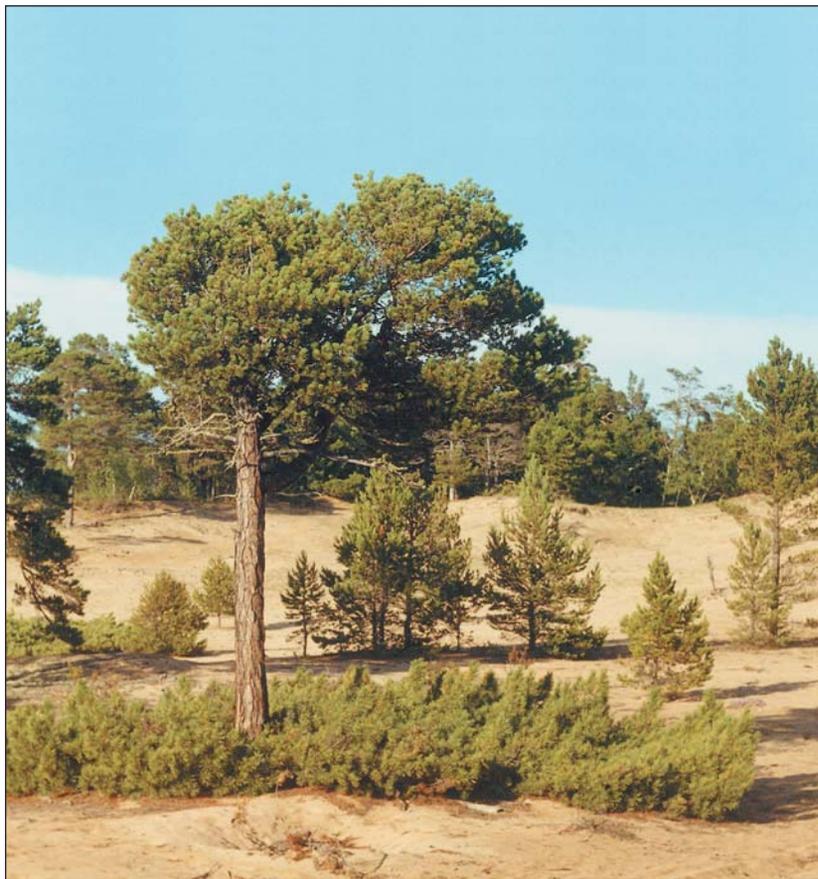
иногда 10—15 м в диаметре. Под пологими этими сосновыми или лиственничными стланиками создаются благоприятные для дальнейшего нормального существования деревьев температура и влажность.

При густом шлейфе сосны освобождаются от веток, сохраняя ветвистую крону только на вершине, а после гибели дерева, естественной или от топора, в нем зарождается новое, возможно, даже другого вида.

Еще один не менее действенный способ противостояния губительным шквальным порывам ураганных ветров — кущение деревьев. Комлевая часть ствола разветвляется на несколько отростков. Создается куст лиственницы или сосны — своеобразное семейство отростков с густой кроной. Каждый ствол при наклонах поддерживается соседними побегами, и сильный



Раскутившаяся сосна.



Сосна в очаге дефляции южнее устья р. Баргузин, надежно защищенная стлаником.

ветер уже не в состоянии сломать их.

При особо сильных, катастрофических ветрах срабатывает дополнительный механизм, предохраняющий такое дерево от слома. Оно вытягивается по ветру, сжимается, принимая легко обтекаемую форму, позади которой не создается мощных воздушных завихрений, и ветви не отрываются от дерева. После ослабления ветра «кустистое» дерево распрямляется, принимая прежний вид и форму.

Любопытно, что даже высокие, интенсивно движущиеся дюны, легко уничтожающие на своем пути одиночные или разрозненные деревья и даже участки леса, не засыпают такие экземпляры, а огибают их. По всей видимости, вокруг древесных кустов возникают ускоренные ветровые струи, препятствующие осадению и накоплению песчаного материала.

Одновременно под их кронами создается особый микроклимат, благоприятствующий более длительному сохранению влаги в почве и конденсации воды в виде росы в ночное время.



Движущаяся дюна огибает раскустившуюся сосну в районе залива Нюрганская Губа на Ольхоне.



Разросшийся песчаный бугор сохраняется при ураганных ветрах благодаря куртине леса.

Соседние же одиночные деревья сильно деформированы, круто наклонены и находятся на грани гибели.

Третий способ самосохранения деревьев, наблюдавшийся на сыпучих песках вокруг Байкала, — куртинность. Они вырастают в непосредственной близости друг от друга, кучкой, а корни их, переплетаясь, создают единую сетевидную корневую систему. Несмотря на пронизывающие ветра, выдувающие вокруг песок, она сдерживает дефляцию, и куртины даже постепенно разрастаются. Между стволами деревьев поселяются травы, кустарники, в основном шиповник иглистый и рододен-

дрон даурский, накапливается опад из хвои, веток, листьев. Все это способствует удержанию перевеваемого песка, частично его накоплению, формированию возвышения на месте куртины. Одновременно на оголенных окружающих пространствах поверхность снижается. Таким образом формируются довольно высокие (до 5—10 м) песчаные бугры, обычно распространенные в прибрежной зоне.

Способы самозащиты деревьев часто проявляются в разнообразных комбинациях. Так, кустистое дерево или куртина из плотно сомкнутых разрозненных экземпляров лиственницы сибирской или сосны обычно-

венной одновременно расстилают вокруг себя шлейфы из стелющихся веток. Но почти всегда для собственной сохранности деревья на песчаных берегах Байкала самоорганизуются в сообщества и только в этом случае выживают в казальное бы в невыносимых условиях местообитания. Наша же задача в том, чтобы поддержать существование этих несомненных памятников природы, охраняя их от топора лесозаготовителей и безграмотных туристов. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-05-65244.**

Во Франции, на верфи Паимполь Армо Текник, построено судно новой конструкции «Катаглон», предназначенное для очистки акватории портов, озер и рек от пластиковых бутылок, другого твердого мусора и от разливов углеводородного топлива. Судно-мусоросборщик совершает свои операции при движении как передним, так и задним ходом. Весь захваченный мусор немедленно из сборного контейнера переваливается в другой, помещенный на палубе. Нефтепродукты собираются в специальную емкость, из которой их перекачивают во время стоянки у причала. Длина «Катаглопа» — 6 м, ширина — 2,5 м. Для работы в открытом море создана модель значительно более крупного мусоросборщика (длиной 30—40 м). Terre Sauvage. 2004. №191. P.17 (Франция).

Немецкие биологи изучают степень воздействия ветровых энергетических установок, сооруженных

на открытых участках Северного моря, на обитающих там тюленей. Надев на их головы аудиокаски и электроды, ученые пытаются определить, в какой мере нарушают слуховой аппарат животных звуковые волны, производимые гигантскими лопастями ветроустановок, энергоагрегатами, а также вертолетами, которые инспектируют установки. Результаты исследований важны при планировании гидротехнических сооружений открытого моря с точки зрения воздействия на окружающую среду. Sciences et Avenir. 2004. №684. P.40 (Франция).

В Мировой океан попадает огромное число изделий из пластика, разрушающихся в дальнейшем до неподверженных биологическому распаду микрочастиц. А.Рассел (A.Russell; Саутгемптонский университет, Великобритания), проанализировав состав образцов осадков и планктона, которые были собраны за 50 лет в морях, нахо-

дящихся на значительном удалении от британских берегов, установил постоянный рост содержания в пробах пластиковых волокон. Ученый настаивает на тщательном изучении этого вида загрязнений, ведь их движение по пищевой цепи океана до сих пор неизвестно. А попадание в морские воды пластиковых контейнеров опасно еще и тем, что в некоторых из них находятся химические вещества, которые затем переносятся течениями на большие расстояния. Sciences et Avenir. 2004. №688. P.39 (Франция).

Группа американских пловцов испытывала в водах, омывающих Багамские о-ва, средство, отпугивающее акул. Несколько капель желтого вещества — настоя на... хрящавых мертвых акул, запах которого живые акулы не переносят, — заставляют хищниц уходить на глубину. Sciences et Avenir. 2004. №691. P.32 (Франция).

# Метеорит с Фобоса?

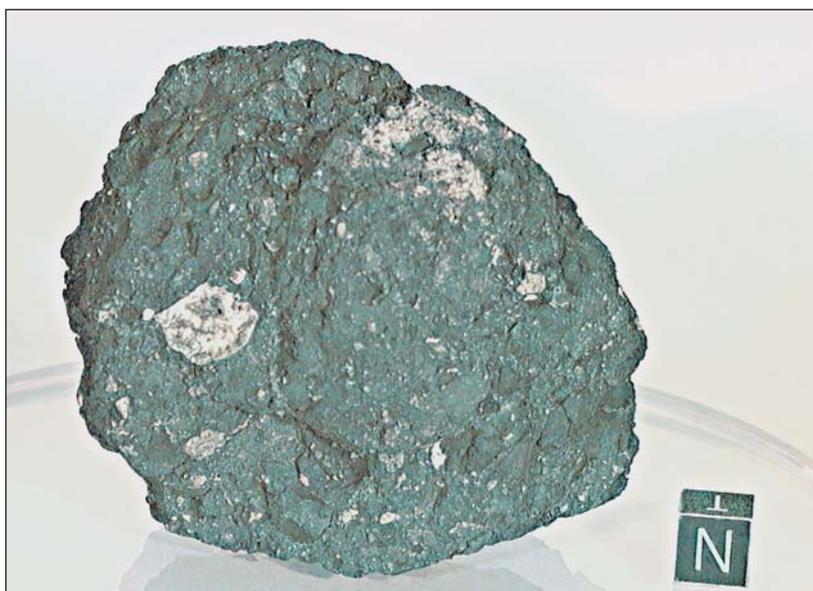
В.Г.Сурдин,

*кандидат физико-математических наук*

*Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга  
Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова*

7 мая 1981 г. в Метеоритную коллекцию Академии наук поступил метеорит Кайдун (Kaidun), упавший 3 декабря 1980 г. в Народной Демократической Республике Йемен (15°с.ш., 48.3°в.д.) и поднятый сразу после падения (поэтому возможность его загрязнения земным веществом практически исключена). Масса метеорита составила 850 г. Он оказался очень пористым и трещиноватым, поэтому, несмотря на то, что упал на рыхлый песок, раздробился на множество осколков. Это свидетельствует о высокой пористости родительского тела метеорита Кайдун, а присутствие в нем многочисленных чужеродных включений показывает, что оно подвергалось интенсивной метеоритной бомбардировке.

Изучением метеорита Кайдун уже более 20 лет занимаются Андрей Валериевич Иванов и его коллеги из Института геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского РАН и ряда зарубежных научных центров. Их предварительные исследования, проведенные еще в начале 1980-х годах, показали, что это хондритовая брекчия экстремально высокой степени гетерогенности. Ее фрагменты имеют весьма широкий диапазон



Метеорит Кайдун, возможно, прилетевший на Землю с Фобоса.

размеров — от миллиметрового до микронного. При этом метеорит содержит смесь «несовместимых» типов вещества — углистых и энстатитовых хондритов, т.е. соответственно наиболее окисленных и наиболее восстановленных представителей метеоритного вещества.

Дальнейшие детальные исследования шлифов метеорита показали, что почти каждый из них содержит новые литологические разновидности вещества, не наблюдавшиеся в уже рас-

смотренных шлифах, а зачастую и во всех других метеоритах. Это указывает на разнообразие процессов, сформировавших его вещество. Среди них выделяются три основные группы:

— процессы, протекавшие на ранней, доаккреционной стадии эволюции протопланетной туманности, т.е. процессы небулярной конденсации, агломерации и плавления, предшествовавшие формированию планет;

— процессы, происходившие на теле астероидного ти-

па — родительском теле метеорита (ударное плавление, водное изменение и водный перенос вещества);

— процесс магматической дифференциации вещества, способный протекать лишь в недрах крупных тел планетного типа.

Исключительное многообразие компонентов метеорита Кайдун сильно усложнило разработку сценария его происхождения: для формирования такого вещества требуются очень разнообразные условия. Было изучено несколько гипотез; на роль родительского тела претендовали астероид Церера, ядро потухшей кометы, объект из группы троянцев на орбите Юпитера. Но все эти варианты были отвергнуты из-за того, что в метеорите Кайдун обнаружались фрагменты щелочного состава, вообще крайне редкие для метеоритов (из 23 тыс. метеоритов, входящих в мировую коллекцию, они обнаружены лишь у двух, включая Кайдун). Такие фрагменты могли образоваться только в недрах большой планеты.

Поэтому на роль родительского тела нужно было найти малый объект Солнечной системы, способный обогащаться веществом крупной планеты. Естественно, возникла идея о том, что метеорит Кайдун прилетел с одного из спутников Марса — с Фобоса или с Деймоса [1]. Поскольку Деймос находится значительно дальше от Марса, вероятность попадания на него марсианских фрагментов существенно ниже, чем на Фобос.

У астрономов нет оснований сомневаться, что вещество, выброшенное с Марса при метеоро-

ритных ударах, присутствует на поверхности Фобоса, особенно если учесть наличие в земных метеоритных коллекциях заметного количества — около трех десятков — марсианских «пришельцев». Более того, существует предположение, что борозды и кратерные цепочки на Фобосе образовались в результате выпадения выбросов при крупных ударных событиях на Марсе. Таким образом, Фобос может содержать не только первичное вещество протопланетной туманности, но и вещество, переработанное в недрах планеты.

Существуют две гипотезы происхождения Фобоса. Первая из них предполагает, что спутник родился практически на месте его современной орбиты: он сформировался в результате аккреции из газопылевого диска, окружавшего новорожденный Марс. В этом случае состав Фобоса должен был быть близок составу Марса.

Другая гипотеза происхождения Фобоса предполагает так называемый небулярный захват. Согласно ей, Фобос является астероидом, образовавшимся, подобно родительским телам углистых хондритов, на расстоянии как минимум вдвое большем от Солнца, чем Марс, во внешней зоне пояса астероидов. В дальнейшем, на самых ранних этапах эволюции Солнечной системы, Фобос при прохождении через окружающую Марс околопланетную туманность затормозился в ней и перешел с гелиоцентрической на околомарсианскую орбиту.

Каждая из гипотез имеет сильные и слабые стороны. Так, низкие плотность и альbedo Фобоса противоречат модели его

аккреции вблизи Марса. С другой стороны, современные орбитальные характеристики Фобоса, регулярность его орбиты не согласуются с моделью небулярного захвата. У сторонников каждой из гипотез есть идеи для объяснения возникающих противоречий, но нет убедительных доводов в пользу одной из них. Однако гипотеза захвата сейчас более популярна. Если придерживаться ее, то история метеорита Кайдун может выглядеть так: 4.56 млрд лет назад во внешней зоне пояса астероидов образовалось углисто-хондритовое тело — астероид Фобос. Перемещаясь к центру Солнечной системы, Фобос захватывал разнотипные фрагменты допланетного вещества. Достигнув орбиты Марса, Фобос был захвачен околопланетной туманностью, окружавшей Протомарс. Сопровождавшие это событие механические напряжения разогрели Фобос и привели к таянию воды в его недрах, что вызвало водное изменение вещества. На околомарсианской орбите Фобос подвергался метеоритной бомбардировке; на него выпадали фрагменты Марса. В подповерхностном слое вещество перерабатывалось и становилось однородным. Наконец, около 1 млн лет назад ударное событие выбросило вещество метеорита Кайдун с Фобоса в космическое пространство, а 3 декабря 1980 г. метеорит упал на Землю.

Если все было действительно так, то в руках у исследователей оказался образец космического вещества с уникально интересной историей, проливающей новый свет на эволюцию Фобоса и Марса. ■

## Литература

1. Иванов А.В. // *Астрономический вестник*. 2004. Т.38. №2. С.113—125.

# Микробные сообщества в океанской литосфере

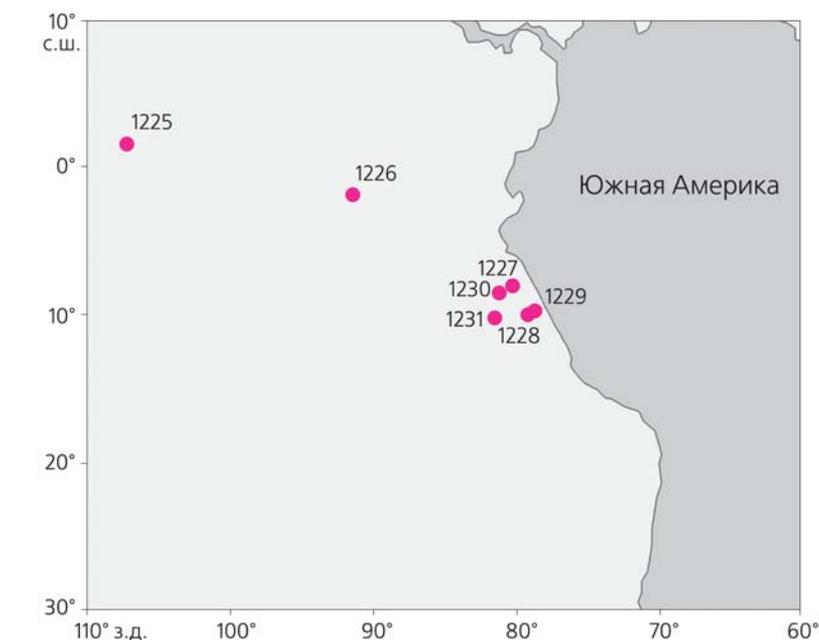
## 201-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук  
Геологический институт РАН  
Москва

За последние полтора десятка лет накопилось множество свидетельств существования и активности микробных сообществ в глубоких горизонтах осадочного чехла океанов и даже внутри базальтового фундамента. Поскольку бурение все эти годы в основном проводится в Тихом океане, большинство их местонахождений приурочено к этому бассейну, где они обнаружены в осадках на глубинах до 800 м ниже поверхности дна [1–4]. Однако имеются также сведения о микробных популяциях, обитающих в подповерхностных осадках приантарктических районов Индийского океана [5]. Нет сомнения, что они будут найдены и в других районах Мирового океана.

Численность микробных сообществ колеблется от одного миллиона клеток в кубическом сантиметре осадка в низкопродуктивных районах океана (например, в восточной экваториальной части Тихого океана) до одного миллиарда в осадках высокопродуктивных районов (Перуанско-Чилийский шельф). Согласно некоторым предварительным расчетам, общая масса микробных сообществ может колебаться от 1/10 до 1/3 от всей биомассы. Чтобы предста-



Положение скважин, пробуренных в 201-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» Программы океанского бурения.

вить себе масштабы деятельности этой подповерхностной биосферы в осадочном чехле океана, достаточно сказать, что количество углерода, законсервированного в гидратах метана, производимых микробными популяциями, в четыре–восемь раз больше, чем его содержится в живых организмах на поверхности земли и в почве вместе взятых [6].

Масштабы этой своеобразной биосферы и ее вероятное воздействие на процессы как внутри осадков, так и на поверхности Земли привлекают все большее внимание исследователей. Ее изучение практически только начинается, и в ближайшие годы предстоит выяснить в первую очередь пространственное распространение микробных сообществ в осадках

Мирового океана, особенности их жизнедеятельности в глубоких слоях осадочного чехла и физико-химические условия и экологические пределы их существования и активности.

201-й рейс был первым, задачей которого стало непосредственное изучение микробных сообществ в подповерхностных осадках разных зон океана. Он проводился в восточной экваториальной части Тихого океана в январе—марте 2002 г. под научным руководством С.Д'Хондта (Университет Род-Айленда, США), Б.Йоргенсена (Институт морской микробиологии Макса Планка, Германия) и Д.Миллера (Программа океанского бурения, США) [7].

Выбор восточной экваториальной части Тихого океана для проведения исследований обусловлен тем, что этот регион характеризуется большим разнообразием обстановок, в кото-

рых могли быть встречены микробные сообщества. Он включает районы с глубинами океана от 150 до 5300 м, температура осадков в скважинах колебалась от 1 до 25°C, а их возраст менялся от 0 до почти 40 млн лет.

В рейсе было пробурено 33 скважины в семи точках (1225—1231) с максимальным проникновением в осадки на глубину 419.9 м (скважина 1226, около 300 км к югу от Га-лапагосских о-вов). В двух точках (1228, 1229 у Перуанского побережья) скважины вскрыли плиоцен-четвертичные осадки, в одной — в открытом океане (1231) — скважина достигла верхнеэоценовых осадков, в остальных точках (1225—1227, 1330) бурение было остановлено на разных уровнях миоценового разреза. В итоге было получено почти 3 км керна. Микробные популяции обнаружены в разрезах всех скважин

вплоть до наиболее древних осадков.

Полученные в рейсе материалы в настоящее время изучаются в исследовательских центрах разных стран, и их всесторонняя геологическая интерпретация еще впереди. Предварительный анализ на борту судна показал, что активная жизнедеятельность микробных сообществ имеет место по всему разрезу во всех обстановках осадконакопления как в высоко-, так и низкопродуктивных зонах океана. Вместе с тем подтверждается факт, что численность сообществ намного выше в осадках континентального шельфа Перу, чем в осадках низкопродуктивных зон открытого океана. При этом максимальна она в узком приповерхностном интервале мощностью в несколько десятков метров. В целом плотность популяций уменьшается вниз по разрезу. ■

## Литература

1. Taylor B., Huchon P., Klaus A. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program (PODP). Init. Repts. 1999. Leg.180.
2. Басов И.А. Бассейн Вудларк — модель для изучения процессов растяжения и раскола земной коры (180-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн») // Природа. 2001. №11. С.20—21.
3. Binns R.A., Barriga F.J.A.S., Miller P.J. et al. PODP. Init. Repts. 2002. Leg.1. P.193.
4. Басов И.А. «ДЖОИДЕС Резолюшн»: 192-й и 193-й рейсы // Природа. 2002. №12. С.25—27.
5. Thierstein H.R., Storrlein U. // PODP. Scientific Results. 1991. Leg.119. P.687—692.
6. Kvenvolden K.A. // Rev. Geophys. 1993. V.31. P.173—187.
7. D'Hondt S.L., Jorgensen B.B., Miller D.J. et al. // PODP. Init. Repts. 2003. Leg.201.

По данным Всемирного союза охраны природы, под угрозой исчезновения в настоящее время находится 12 259 видов флоры и фауны — на 2000 больше, чем в 2003 г. Более всего страдают обитатели островов, в основном из-за вселения чужеродных видов. В частности, на Гавайских о-вах может быть утрачено 85 из 125 видов растений.

Terre Sauvage. 2004. №191. P.16 (Франция).

Сейчас в мире насчитывается 3600 черных носорогов (*Diceros bicornis*). Это, конечно, немного, поскольку в середине 1970-х годов их численность еще достигала 65 000, но прослеживается и какая-то обнадеживающая перспектива — ведь к 1990 г. их оставалось всего 2400. Sciences et Avenir. 2004. №690. P.29 (Франция).

Полуяхта, полусубмарина «Трилобус-65» представляет собой четы-

рехпалубный корабль-жилище, который может встать на якорь в мелководных бухтах и атоллах. Он сконструирован итальянским кораблестроителем Дж.Цэма (G.Zema), имеет 20 м в длину и оснащен наблюдательной сферой, которая выдвигается из днища на 3 м. Несколько «Трилобусов», поставленных на якоря в круг, могут создавать морские поселения-колонии.

Sciences et Avenir. 2004. №685. P.15 (Франция).

## **Премьер Столыпин: «Примите уверение в совершенном моем уважении...»**

Студенческое научно-литературное общество Петербургского университета существовало всего пять лет — с 1882-го по 1887-й, но 12 его членов стали академиками (в том числе В.И.Вернадский, Ф.Ю.Левинсон-Лессинг, С.Ф.Ольденбург и др.), более 40 — профессорами. Свыше 350 студентов принимали участие в организации публичных лекций, переводе и реферировании иностранных научных сочинений, издании лучших студенческих работ. «Университетские годы, — признавался С.Ф.Ольденбург, — оставили <...> неизгладимое впечатление тем богатством содержания, которое они внесли в мою жизнь, теми людьми, с которыми я сблизился в незабвенные студенческие годы. Время это было мрачное и тяжелое, власть смотрела на студенчество как на источник смуты в стране и соответственно и поступала со студентами; собираться запрещали, и сколько раз полиция переписывала нас, когда мы собирались на чтение научных докладов и рефератов! <...> Научно-литературное общество сплотило вокруг себя работающее научно студенчество самых разных политических направлений, кроме ушедших из него консерваторов. На наше университетское поколение оно оказало большое влияние как хорошая школа общественно-культурной ра-

боты с рядом ценных начинаний»\*.

Одним из тех участников общества, кто предпочел научной государственную карьеру, был премьер-министр России и министр внутренних дел Петр Аркадьевич Столыпин (1862—1911). Если в советские годы представители властной элиты и академики обменивались деловыми письмами по самым разным поводам (достаточно вспомнить беспрецедентную переписку с Кремлем Петра Леонидовича Капицы), то о чем и как переписывались ученые и высшие государственные чины императорской России, менее известно. Сохранившиеся письма министра внутренних дел П.А.Столыпина члену Государственного Совета от АН и университетов, профессору В.И.Вернадскому показывают, что министр очень внимательно относился к просьбам бывшего сокурсника. Так, 7 мая 1906 г. он писал:

«Милостивый государь Владимир Иванович. Немедленно прикажу доложить себе дело Каменецких и сделаю все возможное в пределах справедливости и возможности. Очень Вам благодарен, что Вы обратили внимание мое на столь исключительный случай и жалко, что не виделись с Вами, тем более, что, как мне кажется, мы были с Вами в Петербургском Университете не только одновременно на одном факультете, но и на од-

\* СПбФ АРАН. Ф.208 (С.Ф.Ольденбург). Оп.2. Д.15. Л.1об.-2.

ном курсе. Примите уверение в совершенном моем уважении и преданности. П.Столыпин»\*\*.

В продолжение истории о братьях Каменецких последовало следующее письмо Столыпина Вернадскому 18 мая 1906 г.: «Многоуважаемый Владимир Иванович. Только что мною подписано распоряжение об освобождении обоих братьев Каменецких. Очень рад, что удалось сделать Вам приятное. Примите уверение в совершенном моем уважении и преданности. П.Столыпин»\*\*\*.

Инициативное и ответные письма Вернадского на эти письма Столыпина пока не обнаружены, однако известно, что их эпистолярный диалог продолжался, и 26 октября 1908 г. Вернадский вновь обратился к премьеру с просьбой освободить 21 студента Московского университета, приговоренных к тюремному заключению за участие в собрании студенческого либерального кружка «Новь»\*\*\*\*. Легко представить себе, что обстоятельства российской действительности еще неоднократно вынуждали бы профессора просить за студентов, но в марте 1911 г. Вернадский выбыл из состава Госсовета, а в сентябре того же года Столыпин был убит агентом охраны.

**С.М.С.**

\*\* Архив РАН. Ф.518. Оп.3. Д.1579. Л.1.

\*\*\* Там же. Л.2.

\*\*\*\* Опубликовано с купюрами: В.И.Вернадский. Из писем разных лет // Вестник АН СССР. 1990. №5. С.79—80.

# Оппенгеймер и Харитон: параллели жизни

Дэвид Холлоуэй

Автор очерка Дэвид Холлоуэй (Holloway) — историк науки, профессор Станфордского университета (Калифорния, США). Известен работами по истории холодной войны, советско-американских отношений в период гонки вооружений и др. Особый интерес в широких кругах вызвала его книга «Сталин и бомба», вышедшая сначала в Америке, а затем переведенная на русский и опубликованная в нашей стране (Новосибирск, 1997).

Предлагаемый читателю текст — это согласованный с автором журнальный вариант статьи, которая будет включена во 2-е издание книги «Юлий Борисович Харитон. Путь длиною в век», выходящей в издательстве «Наука».

Юлия Борисовича Харитона иногда называют «советским Оппенгеймером», поскольку он стоял во главе первого советского проекта ядерного оружия. В 1995 г. Мемориальный комитет Роберта Оппенгеймера пригласил Харитона прочитать в Нью-Мексико лекцию, посвященную памяти Оппенгеймера. Он очень хотел принять это приглашение, однако здоровье не позволило ему приехать, и он направил в комитет письмо, в котором, в частности, писал:

«К сожалению, мне известно не очень многое о личности Роберта Оппенгеймера, но то, что известно, заставляет меня относиться к нему с глубоким уважением. Читая о его жизни, я обратил внимание на несколько забавных совпадений в наших биографиях. Юлиус Роберт Оппенгеймер (его первое имя совпадает с моим первым) родился в том же 1904 году, что и я. Его мать, как и моя, имела отношение к искусству, и, по-видимому, привила ему интерес к музыке, живописи и поэзии. В 1926 году Оппенгеймер ненадолго оказался в Кембридже в лаборатории Резерфорда, где я работал с 1926 по 1928 год. К сожалению, я не запомнил его» [1].

Список параллелей или, если угодно, совпадений можно продолжить. Оба, Оппенгеймер и Харитон, были в своих странах первыми руководителями лабораторий, занимавшихся созданием ядерного оружия, — в Лос-Аламосе и Сарове\*. Оба были выходцами из высокообразованных ассимилированных еврейских семей. И, если верить последним документальным находкам, касаю-

\* Для проведения секретных работ в районе Нижнего Новгорода (тогда Горький) был построен закрытый научный центр Арзамас-16. Теперь это город Саров — там расположен старинный Саровский монастырь. — *Примеч. ред.*

щимся Оппенгеймера, оба были членами коммунистических партий. Харитон вступил в КПСС в 1956 г., будучи уже в течение 10 лет научным руководителем ядерного центра в Сарове. Если верить гипотезе о членстве Оппенгеймера в Компартии США, то время его пребывания в ней датируется приблизительно периодом с 1938 по 1942 г.

Вместе с тем, в их биографиях, помимо того, что один жил в Соединенных Штатах, а другой — в Советском Союзе, имеются существенные отличия. Атомные бомбы, разработанные в Лос-Аламосе под руководством Оппенгеймера, были сброшены на Хиросиму и Нагасаки, тогда как ни одно из детищ Харитона не было использовано в боевых действиях. После событий в Хиросиме Оппенгеймер стал общественным деятелем, имя которого во всем мире ассоциировалось с созданием атомной бомбы и проблемой ответственности ученых в ядерный век. Харитон, напротив, оставался сверхсекретной фигурой вплоть до 80-х годов.

В этом очерке я отмечаю некоторые параллели и различия в жизни и профессиональной деятельности Харитона и Оппенгеймера. Сходства представляются особенно поразительными, если их рассматривать на фоне контраста социально-политических систем и противостояния США и Советского Союза в холодной войне.

## Биографическая справка

Харитон родился 27 февраля 1904 г. в Санкт-Петербурге, на два месяца раньше Оппенгеймера, появившегося на свет 22 апреля 1904 г. в Нью-Йорке. Отец Харитона, Борис Осипович Харитон, был известным журналистом, редактором кадетской газеты «Речь», а мать, Мирра Яковлевна Би-



Юлий Борисович Харитон (слева) и Юлиус Роберт Оппенгеймер в молодые годы.

ренс, — актрисой Московского художественного театра. Родители расстались, когда Юлий был еще ребенком\*.

Отец Оппенгеймера родился в 1871 г. в Ханау, в Германии. В возрасте 17 лет он приехал в Соединенные Штаты, где вскоре основал собственное дело — занимался закупкой за границей тканей для костюмов. В 1903 г. он женился на молодой художнице Элле Фридман. Брак оказался весьма удачным, и семья процветала [2]. Условия жизни в Нью-Йорке в течение первых двух десятилетий XX в. были гораздо лучше, чем в Петрограде, особенно во время первой мировой войны и после Октябрьской революции. Жизнь Оппенгеймера протекала в большем семейном комфорте, чем жизнь Харитона, хотя оба росли в культурных, нерелигиозных и ассимилированных еврейских семьях. Они унаследовали от родителей прекрасное знание литературы и любовь к ней и к европейской культуре в целом.

До 11 лет Харитон учился дома. В 1920 г. он поступил на физико-механический факультет Петроградского политехнического института (который окончил в 1925 г.), но по приглашению Н.Н.Семенова с первого же курса стал одновременно работать в его лаборатории при Физико-техническом институте, созданном Иоффе. Семенов высоко оценил способности Харитона.

В 1911 г. Оппенгеймер поступил на второй курс Школы этической культуры в Нью-Йорке и окончил ее в 1921 г. Его выделяли среди одноклассников как блестящего ученика. Осенью того же года он собирался начать обучение в Гарварде, однако серьезно заболел, путешествуя летом по

Богемии, куда ездил для изучения геологических пород в старых шахтах Йоахимсталья (минералогия была его юношеским увлечением). Большую часть времени в течение 1921—1922 гг. он занимался восстановлением здоровья и поступил в Гарвардский университет осенью 1922 г. Его специальностью в Гарварде стала химия. По этой дисциплине он и защитил диплом с отличием в 1925 г.

Отец Юлия Харитона, Борис Харитон, был хорошо известен в литературных кругах послереволюционного Петрограда. Когда кадетская газета была закрыта большевистской цензурой, Борис Харитон стал директором Дома литераторов. Харитон вспоминал, как слушал Маяковского, читавшего там свои стихи — по его словам, поэт производил потрясающее интеллектуальное впечатление. В августе 1922 г. сотрудники ГПУ окружили здание Дома литераторов и арестовали руководителей, в том числе Бориса Харитона. Позже он будет выслан из страны вместе с теми, кто вошел в группу примерно двухсот так называемых «идеологически чуждых» интеллигентов. Автором идеи депортации был Ленин. Высылка этой группы продемонстрировала, что большевики не будут терпеть независимую, критически настроенную интеллигенцию в Советской России [3].

## Кембридж

Харитон и Оппенгеймер учились в Кембридже в середине 1920-х годов, но не были знакомы. Оппенгеймер провел там один академический год (1925—1926). Сперва Резерфорд был против того, чтобы принять его в Кавендишскую лабораторию. Рекомендательное письмо профессора Перси Бриджмена, преподававшего Оппенгеймеру физику в Гарварде, объясняет сомнения Резерфорда.

\* О детстве и юности Юлия Борисовича и его родителей рассказывалось в нашем журнале. См.: Природа. 2004. №6. С.67—74.

«Мне кажется, — писал Бриджмен, — что это своего рода лотерея: сможет ли Оппенгеймер когда-либо внести сколько-нибудь существенный вклад в науку? Но если из него выйдет хоть какой-нибудь толк, я уверен, что результат будет необычным. Посему, если вы склонны заключить это маленькое пари без особого ущерба для себя, мне кажется, вряд ли вам еще придется получить такое заманчивое, хотя и спорное предложение» [2. С.77].

Все же Оппенгеймер произвел благоприятное впечатление на Резерфорда и вскоре занял свое место в Кавендишской лаборатории.

Оппенгеймеру не нравилось в Кембридже. Причиной стали личные мотивы и потребность найти свою собственную нишу в физике. Ему было поручено работать с нобелевским лауреатом Дж.Дж.Томсоном, которому было далеко за семьдесят. «В годы моей работы в Кавендишской лаборатории, — писал Харитон, — у Томсона была там небольшая комната, в которой работали два или три молодых человека. Но то, что у него делалось, было как-то в стороне от основного русла физики того времени» [4]. Несмотря на неудовольствие по поводу экспериментальной работы, за год обучения в Кембридже «Оппенгеймер начал развивать свой собственный стиль в науке» [2. С.96]. Он посещал семинары и ходил на собрания в «Клуб Капицы». Окончательно осознав, что хочет заниматься именно теоретической физикой, Оппенгеймер принял приглашение Макса Борна продолжить работу в Германии, в Геттингене, и в конце лета 1926 г. покинул Кембридж.

Харитону попасть в Кембридж помог Капица\*. Во время поездки в Ленинград в начале 1926 г. он присутствовал на докладе Харитона об окислении паров фосфора при низких давлениях — работе, которую он проводил в лаборатории Семенова, и предложил Харитону приехать в Кембридж для получения ученой степени. Осенью 1926 г. Харитон отправился в Англию, чтобы провести там два года. Оппенгеймер же покинул Кембридж незадолго до того, как в начале ноября там появился Харитон.

Благодаря рекомендации Капицы, Резерфорд без колебаний принял Харитона в Кавендишскую лабораторию. Во время пребывания в Англии ему попала статья немецкого ученого Макса Боденштейна, содержащая критику экспериментов с фосфором, проведенных Харитоном в лаборатории Семенова. Боденштейн заявлял, что факт отсутствия окисления фосфора при давлении кислорода ниже критической величины — это экспериментальная ошибка. Харитон написал Семенову письмо с просьбой разобраться в сути де-

\* К 100-летию П.Л.Капицы и Н.Н.Семенова были выпущены специальные номера нашего журнала, где, в частности, описывался и этот сюжет. См.: Природа. 1994. №4; 1996. №6. — *Примеч. ред.*

ла. Позже Семенов провел серию опытов, которые подтвердили правильность результатов Харитона. Более того, эти результаты послужили научной базой для создания теории цепной реакции, за которую Семенов спустя 30 лет, в 1956 г., получит Нобелевскую премию по химии.

В Кембридже Харитон работал с Джеймсом Чедвиком и занимался изучением чувствительности глаза к воздействию слабых световых импульсов и  $\alpha$ -излучением. В 1928 г. он получил степень доктора философии. Его до глубины души поразило, с какой простотой и изяществом решались в Кавендише вопросы экспериментального характера. Видимо, этот опыт и послужил Харитону основой для развития собственного почерка в проведении физических экспериментов. Он сблизился с Капицей, и они оставались друзьями до кончины Петра Капицы в 1984 г.

Что бы вышло, если бы судьбы Оппенгеймера и Харитона пересеклись тогда, в Кембридже? Стали бы два 22-летних молодых человека друзьями? Советский Союз и Соединенные Штаты, естественно, разделяла колоссальная пропасть различий, однако в происхождении и личной истории этих юных ученых было столько общего! Они были неопитами науки на том ее витке, когда физика поистине становилась научным клубом международного масштаба. Одним из ее узловых научных центров стал Кембридж. В то же время научные интересы Оппенгеймера и Харитона в физике не совпадали, да и характеры резко различались. Оппенгеймер, особенно во время пребывания в Кембридже, казался нервным и сложным человеком. Харитон выглядел гораздо более уравновешенным и самодостаточным. Оба они умели дружить. Оппенгеймер прекрасно находил общий язык с людьми совершенно противоположного ему склада, показательный тому пример — его общение с Эрнестом Лоуренсом. Харитон также умел сходить с людьми совсем непохожими на него самого, например с Игорем Курчатовым. Рудольф Пайерлз, который, как и Харитон, отличался скромностью и прекрасным характером, превосходно сотрудничал с Оппенгеймером в годы второй мировой войны и восхищался им. Вполне вероятно, что, столкнусь Оппенгеймер и Харитон в жизни, из них вполне мог получиться дружеский дуэт.

## Научные исследования

Харитон возвращался в Советский Союз в 1928 г. через Берлин, где остановился ненадолго, чтобы повидаться с матерью и ее мужем. Подъем нацизма в Германии произвел на него чудовищное впечатление. Вскоре после возвращения в Ленинград Харитон основал лабораторию по исследованию взрывчатых веществ, которая вошла в состав Института химической физики, со-



Ю.Б.Харитон с Я.Б.Зельдовичем.  
1970-е годы.

зданного в 1931 г. под руководством Семенова. Выбор научного направления был отчасти продиктован опасениями, что рост влияния нацизма может привести к глобальной войне. Лаборатория работала над исследованием физических и химических проблем, связанных с процессами детонации и горения. Помимо оборонного, результаты исследований имели практическое значение для угольной и нефтяной промышленности [5].

Научная карьера Оппенгеймера была совершенно иной. Он получил докторскую степень в Геттингене весной 1927 г. по теме применения квантовой теории для анализа переходов в непрерывном спектре. Как и Харитон, Оппенгеймер был напуган политическими настроениями, господствовавшими в Германии в конце 20-х годов. Позднее он вспоминал «нищету, господствовавшие среди немцев настроения крайней униженности, горечи, беспросветности, протеста и гнева, которые послужили впоследствии причиной ужасной катастрофы...» [2. С.32–37]. Оппенгеймер переехал в Соединенные Штаты летом 1927 г., однако еще раз вернулся в Европу в 1928 г., получив стипендию на девятимесячную научную программу в Лейдене, Утрехте и Цюрихе. В том же году он возвратился в США, где ему поступило предложение работать одновременно в Калифорнийском технологическом институте в Пасадене и в Калифорнийском университете в Беркли. Там ему предстояло стать ключевой фигурой в создании и развитии американской школы теоретической физики.

Харитон был в первую очередь физиком-экспериментатором, Оппенгеймер же — теоретиком. Они разрабатывали разные ветви физики в 30-х

годах, однако их научные интересы начали сходиться, когда стало известно об открытии расщепления атомного ядра. Оппенгеймер немедленно загорелся новыми идеями. «Уран — это что-то потрясающее!!» — писал он своему коллеге в 1939 г. Он ничего не публиковал по этой теме, но «постоянно участвовал в связанных с ней теоретических спорах и дискуссиях» [2. С.207]. Он был одним из ближайших коллег Эрнеста Лоуренса в Беркли и сотрудничал с ним в области применения электромагнитных процессов для разделения изотопов урана. Однако вплоть до октября 1941 г. Оппенгеймер не участвовал непосредственно в работах по изучению реакций на быстрых нейтронах.

В январе 1942 г. Оппенгеймеру предложили возглавить научную группу по исследованию реакций на быстрых нейтронах в Беркли. В мае того же года ему дают задание возглавить все научные разработки по исследованию реакций на быстрых нейтронах; вскоре все это будет объединено в научный конгломерат под названием Манхэттенский проект. В конце года генерал Лесли Гроувз, возглавлявший администрацию проекта, назначил Оппенгеймера директором лаборатории в Лос-Аламосе, где предстояло спроектировать и создать атомную бомбу. Лос-Аламос начал работать в марте 1943 г., когда туда прибыли первые ученые-физики.

Харитона также затронуло открытие деления ядра. Его коллегой по изучению условий возникновения цепной реакции деления урана стал Яков Зельдович, тоже работавший в Институте химической физики. Они достигли существенного успеха в определении этих условий и опубликовали несколько статей на эту тему незадолго до

начала фашистской агрессии. Остальные научные работы увидели свет много лет спустя. Эти труды содержат, пожалуй, наиболее полный (для того времени) анализ процесса цепной ядерной реакции. В марте 1940 г. Отто Фриш и Рудольф Пайерлз, два беженца из фашистской Германии, скрывшиеся в Британии, совершили крупный научный прорыв, доказав, что для инициации взрывной ядерной цепной реакции достаточно лишь малого количества чистого урана-235. Британское правительство создало специальный орган (Комитет Мод) для изучения результатов Фриша и Пайерлза. В июле 1941 г. комитет представил заключение, согласно которому для создания бомбы достаточно 10 кг урана-235 [6]. Харитон и Зельдович, в сотрудничестве с Исаем Гуревичем, пришли к аналогичному результату весной того же года.

Немецкое вторжение в СССР, начавшееся 22 июня 1941 г., привело к прекращению исследований Харитона и Зельдовича. Оба они стали разрабатывать твердое топливо для реактивной артиллерийской установки «Катюша», а позднее Харитон участвовал в создании противотанковых мин и дешевых суррогатных взрывчатых веществ. Харитон стал участником советского ядерного проекта в 1943 г. как совместитель — в качестве ответственного за проведение экспериментов по цепным реакциям на быстрых нейтронах. После окончания войны его все больше привлекают к проекту, и уже летом 1946 г. он становится научным руководителем специального конструкторского бюро (КБ-11) в Арзамасе-16, которому предстоит стать местом рождения атомной бомбы.

## Руководители

В конце 30-х годов Оппенгеймер увлекся леворадикальными политическими идеями. Он, в частности, поддерживал испанских республиканцев и движение калифорнийских фермеров. Он оказал содействие в создании Американской ассоциации преподавателей в Беркли, а также регулярно посещал заседания группы, обсуждавшей острые текущие политические события. Позднее Оппенгеймер утверждал, что это была дискуссионная группа, другой очевидец описывал ее как «секретную ячейку Коммунистической партии» [7]. Оппенгеймер никогда не отрицал своих симпатий к левым политическим взглядам, однако последовательно и твердо отрицал свое членство в коммунистических организациях. Прошлая общественная деятельность Оппенгеймера вызывала подозрения среди высоких армейских чинов, однако генерал Лесли Гроувз отклонил возражения при назначении Оппенгеймера на пост директора Лос-Аламоса.



Роберт Оппенгеймер и генерал Лесли Гроувз осматривают место испытания атомной бомбы.

С точки зрения сталинской идеологии, политическое досье Юлия Харитона также вызывало множество вопросов. После изгнания из Советской России его отец Борис Харитон провел некоторое время в Берлине, потом переехал в Ригу, где работал в редакции русской эмигрантской газеты. Вскоре после аннексии страны, в октябре 1940 г., он был арестован НКВД и спустя два месяца осужден на 7 лет лагерей и 3 года ссылки. Он умер в 1941 г. либо на пути к месту заключения, либо уже в лагере. Юлий Харитон потерял контакт с отцом в конце 1920-х или в начале 1930-х годов. Он был лишен права переписки с отцом с момента, когда стал заниматься «закрытыми» работами. Участь Бориса Харитона, без сомнения, легла темным пятном на личную характеристику



Ю.Б.Харитон с И.В.Курчатовым.

его сына. В довершение всего властям было известно, что мать Юлия Харитона с середины 30-х жила в Палестине. К концу 40-х годов, когда достигла своего пика кампания гонений на «космополитов», еврейское происхождение Харитона играло против него, а годы, проведенные в Кембридже, должны были усугублять подозрительность властей.

В обеих странах, в Советском Союзе и в Соединенных Штатах, для руководства стратегически важной задачей по созданию бомбы были избраны два человека, темпераменты и политические портреты которых никак не соответствовали идеальным требованиям к личностям руководителей такого уровня. И все же история доказала правильность выбора: исключительно высокая эффективность руководства проектами в обоих случаях — факт общепризнанный.

До момента назначения на пост директора Лос-Аламоса у Оппенгеймера не было никакого опыта руководящей работы. Ему даже не предлагали стать деканом физического факультета. Тем не менее черты характера, предопределившие его успех в Лос-Аламосе, ярко проявились еще до войны — «быстрый и разносторонний интеллект, высокая работоспособность, личная харизма и забота об окружающих» [2. С.221]. Он продемонстрировал исключительную самодисциплину во время работы над созданием атомной бомбы. Быстро стал естественным лидером команды. «Что бы он ни говорил, всем нам было ясно, — сказал на панихиде по Оппенгеймеру Ганс Бете, — что ему было известно все самое важное, что касалось технических проблем работы лаборатории, и он каким-то образом мог прекрасно держать их в голове. Но он никогда не доминировал и никогда не диктовал окружающим свои условия. Он вызывал в нас все самое лучшее. Его

можно сравнить с радушным хозяином, который старается уделить каждому из гостей максимум внимания. А так как Оппенгеймер исполнял свои обязанности настолько совершенно, что это было очевидно и для окружающих, мы все тоже старались работать как можно результативнее» [2. С.264].

Оппенгеймер пользовался уважением всей обширной группы ученых, собранных в Лос-Аламосе. Он управлял сложнейшим системным научным исследованием, удачно завершившимся в крайне сжатые сроки. Безусловно, решение о бомбардировке Японии принял не Оппенгеймер, а президент Трумэн, однако Оппенгеймер не высказывал возражений и не настаивал на альтернативных военных решениях, хотя подобной возможностью располагал. Можно было, например, провести демонстрационный взрыв на полигоне.

Он оставил пост директора Лос-Аламоса в октябре 1945 г., через три года после официального назначения.

Советский исторический контекст событий кардинально отличался от американского. Первое отличие: Харитон работал в тесном сотрудничестве с Курчатовым, научным руководителем всего ядерного комплекса. Должность Курчатова не имела прямого аналога в Манхэттенском проекте. Руководящие должности в последнем занимали несколько ведущих ученых — прежде всего Джеймс Конант и Ванневар Буш, но ни один из них не был напрямую вовлечен в процесс руководства в такой степени, как Курчатов. Второе отличие: по просьбе Харитона заместитель Сталина Берия учредил пост директора КБ-11, оставив за Харитоном должность научного руководителя. Таким образом, с Харитона была снята часть административных обязанностей, и это обеспечило ему возможность сконцентрировать усилия на ре-

шении научных и инженерных задач. Третье, и, скорее всего, самое главное отличие: без сомнения, быть подотчетным Берии не шло ни в какое сравнение по уровню стресса с необходимостью докладывать генералу Гроувзу.

Именно поэтому представляется особенно интересным, что черты характера Харитона и Оппенгеймера, согласно воспоминаниям современников, во многом совпадают. Все в первую очередь отмечают их стремление добраться до истины в науке. Как и Оппенгеймер в Лос-Аламосе, Харитон досконально знал обо всех исследованиях, проводимых в Сарове. Он задавал много сложных и каверзных вопросов. У него был девиз, известный всем его сотрудникам: «Мы должны знать в десять раз больше того, что мы делаем». Создание бомбы не сводилось только к производству инженерного устройства: проект основывался на глубинном научном понимании происходящих процессов.

Коллеги Харитона подчеркивали его внимательность и педантизм. Опыт, полученный в Кавендишской лаборатории, задал ему высокий стандарт ответственности за все, что происходит в научной работе Института. В мемуарах о Харитоне также неоднократно звучат отзывы о его интеллигентности, личном обаянии и учтивости, а также о его высоких моральных принципах. Харитон, с его манерой тихой речи, с его вежливостью и скромностью, был бесконечно далек от стандартов жесткого советского стиля управления путем «завинчивания гаек».

Параллели в стиле лидерства Оппенгеймера и Харитона — глубокое понимание научных и технических аспектов их работы, а также руководство посредством дискуссии и искусства верной постановки вопроса в противоположность «диктату» — в равной степени предопределялись как природой возглавляемых ими проектов, так и сходством их индивидуальностей. Обоих ученых коллеги высоко ценили за остроту интеллекта и глубокое понимание как научной, так и инженерной областей ядерной физики. Именно эти качества — неоспоримые требования для достижения успеха в подобных областях знания. Однако и Оппенгеймер, и Харитон были в достаточной степени твердыми и последовательными людьми, умевшими отстаивать правильность выбранного ими метода; в противном случае они не смогли бы работать в условиях невероятного давления.

Проведение бесконечных параллелей может несколько затуманить картину исторической перспективы. Харитон следовал за Оппенгеймером, а не шел с ним параллельным курсом. В середине 1941 г. представления Харитона о возможности создания атомной бомбы были, пожалуй, более глубокими, чем представления Оппенгеймера.

Однако Манхэттенский проект развивался с головокружительной быстротой, а бомбардировка Хиросимы и Нагасаки в августе 1945 года наглядно продемонстрировала всему миру техническую исполнимость этой идеи и огромную мощь ядерного оружия.

Советский Союз получал существенную информацию из Лос-Аламоса о конструкции атомной бомбы, главным образом благодаря Клаусу Фуксу. Курчатов и Харитон заранее решили, что самым быстрым путем создания советской бомбы будет копирование американской плутониевой бомбы. Это не значит, что следует преуменьшать значение работы, которая была выполнена советскими учеными и инженерами, и отрицать, что столь быстрое создание советской бомбы было значительным достижением. Однако это значит, что Харитон шел вслед за Оппенгеймером.

Попытки Советской стороны получить разведывательную информацию о развитии американского ядерного проекта выявили еще одно любопытное обстоятельство, связанное с Оппенгеймером и Харитоном. В конце 1942 г. третий секретарь советского консульства в Сан-Франциско Петр Иванов сообщил английскому инженеру Джорджу Элнтону, работавшему в корпорации «Шелл», что в радиационной лаборатории в Беркли проводятся исследования, связанные с атомной энергией. Элтон провёл в свое время несколько лет в Ленинграде, работая по приглашению Харитона в Институте химической физики, но в 1938 году переехал из Советского Союза в Соединенные Штаты. Иванов интересовался, насколько хорошо Элтон знаком с Лоуренсом и Оппенгеймером. Элтон, симпатизировавший коммунистам, предложил Иванову, что может попросить Хаакона Шевалье (профессора университета в Беркли), друга Оппенгеймера, поговорить на эту тему с Оппенгеймером. В начале 1943 г. Шевалье имел короткую беседу с Оппенгеймером (а может быть, и с его братом Фрэнком), в которой намекнул, что у Элтона есть каналы передачи информации в Советский Союз. Позже Оппенгеймер и Шевалье представят разные версии этого разговора, однако из обеих версий совершенно ясно, что Оппенгеймер жестко отклонил саму возможность подобных контактов. Оппенгеймер не стал немедленно докладывать секретным службам об этой беседе, но когда ему все-таки пришлось о ней рассказать, то он несколько раз менял версии собственных показаний, и это нанесло вред как ему самому, так и его окружению [7. С.91—92, 111, 114, 160—162].

Элтон симпатизировал Советскому Союзу и хотел помочь советскому консульству в Сан-Франциско заполучить контакты, потенциально полезные с разведывательной точки зрения. Однако нет никаких указаний на то, что Харитон имел какое-либо отношение к Элнтону во время



Юлий Борисович  
с Дэвидом Холлоуэем.

пребывания того в Сан-Франциско или к попытке его контакта с Оппенгеймером. Равно как нет и доказательств того, что Оппенгеймер передавал сведения об американском проекте Советскому Союзу.

## Общественная деятельность

Основным различием между Оппенгеймером и Харитоновым было то, что Оппенгеймер с 1945 г. и до самой смерти в 1967 г. был общественным деятелем и ассоциировался в общественном сознании с началом атомного века, в то время как Харитонов оставался в тени вплоть до 1980-х годов. Личность Оппенгеймера стала широко известной, а его взгляды на ядерное оружие широко цитировались и обсуждались. Он никогда не выражал сожалений по поводу того, что ему пришлось работать над бомбой, равно как и не считал ошибочной бомбардировку Японии. Что его действительно волновало по-настоящему, так это глобальная угроза всей человеческой цивилизации, связанная с существованием атомного оружия. 16 октября 1945 г., в его последний день на посту директора Лос-Аламоса, он сказал следующее:

«Если ядерную бомбу поставят на вооружение наравне с обычными видами оружия, которыми располагает воюющее государство, или государство, готовящееся к войне, — придет час, когда все человечество проклянет слова Лос-Аламос и Хиросима. Народы мира должны объединиться, иначе они погибнут» [8]. Атомная бомба появилась в мире, в котором широкомасштабные войны — вещь «естественная» и регулярно повторяющаяся. Как же предотвратить угрозу мировой ядерной войны?

Оппенгеймер был вдохновителем доклада Ачесона—Лилиенталя о международном контроле

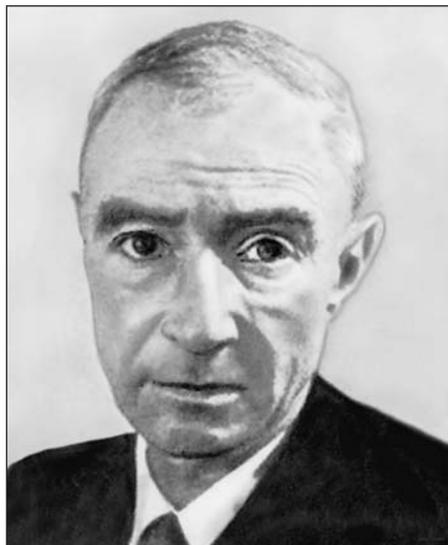
над атомной энергией, который был опубликован в Вашингтоне в марте 1946 г. Соединенные Штаты и Советский Союз договорились вступить в диалог по международному контролю над атомной энергией, и Государственный секретарь США Джеймс Бернс создал комитет под руководством Дина Ачесона для выработки позиции США на этих переговорах. Ачесон, в свою очередь, учредил Консультативный Совет, возглавляемый Дэвидом Лилиенталем (отсюда название «доклад Ачесона—Лилиенталя»); членом Совета был и Оппенгеймер. В докладе предлагалась смелая идея создать международное агентство по контролю за «опасными» видами деятельности, связанными с ядерной энергией, в то время как «безопасные» исследования считать внутренним делом самих государств. В категорию опасных видов деятельности вошли те, которые обеспечивали решение одной из трех задач: добыча радиоактивного сырья, производство плутония и урана-235 и их использование для производства атомных бомб. Оппенгеймер надеялся, что эти меры позволят положить конец использованию атомной бомбы в качестве козыря в международной политике и обеспечить использование атомной энергии в мирных целях. «План Баруха», представленный Соединенными Штатами на переговорах в июне 1946 г., представлял собой модернизированный вариант доклада Ачесона—Лилиенталя. Советский Союз отклонил его, поскольку предполагал создать собственное ядерное оружие. Переговоры по контролю над использованием атомной энергии потерпели фиаско.

Будучи председателем Генерального консультативного совета при Правительственной комиссии по атомной энергии, Оппенгеймер продолжал оказывать влияние на политику США в области ядерных вооружений. После того, как в конце 1949 г. Советский Союз произвел испытание собственной атомной бомбы, в правитель-

стве США начались интенсивные дебаты о необходимости начала разработки водородной бомбы. В октябре 1949 г. Генеральный консультативный совет высказался против разработки водородной бомбы. Большинство членов комитета, включая Оппенгеймера, настаивали на том, что Соединенные Штаты не должны заниматься водородной бомбой, поскольку она «принципиально отличается от атомной бомбы» и может стать «оружием тотального уничтожения». И тем не менее Трумэн принял решение начать проект — официальное заявление об этом прозвучало 31 января 1950 г. [9].

Оппозиция Оппенгеймера по отношению к разработке водородной бомбы была встречена жестким сопротивлением со стороны сил, защищавших планы Правительства. В их число входил Эдвард Теллер, наиболее последовательный сторонник проекта. Это стало одной из причин, по которым Комиссия по атомной энергии в декабре 1953 г. выдвинула против Оппенгеймера обвинения в нарушении секретности. Весной 1954 г. комиссия по рассмотрению личных дел провела заседание, на котором были заслушаны свидетельства как в поддержку обвинения против Оппенгеймера, так и в его защиту. На суд комиссии был вынесен факт умолчания и лжесвидетельства Оппенгеймера по поводу инцидента с Шевалье. Оппенгеймер был лишен доступа к секретным разработкам, что он очень тяжело переживал. За ним оставили пост директора Института высших исследований в Принстоне, однако его влияние в Вашингтоне пришел конец.

Харитон не играл в общественном сознании роли, подобной роли Оппенгеймера. Он исполнял обязанности научного руководителя Научно-исследовательского института экспериментальной физики в Сарове вплоть до 1992 г. — целых 46 лет против трех лет директорства Оппенгеймера. Вне всяких сомнений, Харитон оказывал исключительно важное влияние на советскую ядерную политику тех лет, но мы располагаем лишь минимумом свидетельств о характере его взаимодействия с властями по поводу разработки, испытаний и контроля над ядерными вооружениями. Однако очевидно, что он, в отличие от Оппенгеймера, не выступал против создания водородной бомбы. Для участия в разработке водородной бомбы в 1950 г. в Саров приехал Андрей Сахаров, который оставался там вплоть до 1968 г. «В 40-е — 50-е годы мне гораздо ближе была позиция Теллера, являвшаяся практически зеркальным отражением моей собственной, — писал Сахаров в своих мемуарах. — В отличие от Теллера, в те годы мне не приходилось двигаться “против течения” и не грозило быть подвергнутым остракизму со стороны коллег». Слова Сахарова свидетельствуют о том, что советские разработчики ядерного оружия были твердо настроены в пользу создания водородной бомбы.



Оппенгеймер в последние годы жизни.  
Из иконотеки ИИЕиТ РАН.

Харитон был практически полностью погружен в научное руководство саровским Институтом. Тем не менее он вмешивался в решение некоторых вопросов, затрагивавших судьбы науки в Советском Союзе. Физики старались использовать свой немалый авторитет, заработанный благодаря успехам в ядерных делах, для улучшения общей ситуации в советской науке. В 1952 г. Харитон поставил подпись под письмом к Берии, в котором группа физиков выражала протест против публикаций, бичующих теорию относительности и квантовую механику. Три года спустя Харитон вместе с другими физиками направил письмо Хрущеву, в котором высказывалась озабоченность масштабами вреда, который нанес Лысенко развитию советской науки. В 1966 г. вместе с Н.Н.Семеновым и А.П.Александровым Харитон написал обращение к Брежневу, в котором пытался предостеречь против попытки реабилитации Сталина на XXIII съезде партии.

Однако возможности Харитона с учетом его положения были ограничены. Сахаров, ставший заместителем Харитона как научного руководителя саровского института, в 1968 г. был вынужден уехать из Сарова и оставить секретную работу после того, как за рубежом была опубликована его статья «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе». В 1973 г. Харитон подписал коллективное письмо, содержащее осуждение общественной деятельности Сахарова. Это было очень непростое решение для Харитона — оно внесло раскол в его семью, и впоследствии он сожалел об этом. Очевидно, он опасался, что в случае отказа его лишат руководства институтом, в котором ему хотелось еще многое успеть сделать.

## Заключение

Я пытался найти черты сходства и связей между Оппенгеймером и Харитоном, однако мало затронул очевидную разницу политических условий, в которых они работали. Их объединяло сходное происхождение и уровень культуры, и оба стали учеными на фоне революционного прорыва в развитии физики. Они принадлежали к сообществу физиков, становившемуся в это время истинно интернациональным, хотя Советский Союз был отрезан от этого сообщества с середины 1930-х до середины 1950-х годов. У каждого из них было свое направление в науке, но открытие ядерного распада взволновало и заинтересовало их обоих. Они были назначены в своих странах на исключительно ответственные и требующие полной самоотдачи посты, несмотря на то, что личные досье свидетельствовали против их назначений. Они были главными действующими лицами самых судьбоносных научно-технических проектов XX в.

После второй мировой войны Оппенгеймер сосредоточился на политических последствиях создания бомбы. Он искал возможности влияния на политику США с тем, чтобы добиться международного контроля над использованием ядерной энергии. В ранге советника правительства он консультировал в области разработки вооружений и накопления стратегического ядерного запаса. Харитон же никогда не был открытой общественной фигурой. Причиной тому — очевидное отсутствие возможности начать в Советском Союзе общественную дискуссию по этим вопросам.

Оба они столкнулись с вопросом этической ответственности ученого за технологии, развитию которых они способствовали. Оппенгеймер имел возможность объяснить политическим лидерам и широкой общественности сущность угрозы, которую несет с собой ядерное оружие, ибо прекрасно понимал серьезность проблемы. У Харитона возможности играть подобную роль практически не было, хотя необычайно интересно узнать существенно больше о том, какие рекомендации он давал политическому руководству страны и каким образом ставил вопросы о разработке и безопасности ядерного оружия. Роль независимого публичного представителя интеллектуальной элиты взял на себя близкий соратник Харитона Андрей Сахаров, посвятивший проблеме ядерного оружия свое эссе 1968 г. Поразительно, что Харитон — на примере высылки своего отца — был свидетелем решения Ленина подавить независимость интеллигенции и — на примере своего коллеги Сахарова — свидетелем судьбоносной попытки вернуть эту независимость.

Харитон, естественно, знал об Оппенгеймере после 1945 г. и глубоко интересовался историей Манхэттенского проекта. Знал ли Оппенгеймер о Харитоне и его роли в Советском ядерном проекте? Подобными свидетельствами мы не располагаем. Любопытно, что Оппенгеймера, похоже, вообще мало интересовал Советский Союз, даже несмотря на то, что во второй половине 1930-х годов он симпатизировал советской политике. ■

© Перевод с английского **А.Ю.Семенова**

## Литература

1. Особое выступление в память Роберта Оппенгеймера // Природа. 1999. №3. С.13—16.
2. *Smith A.K., Weiner Ch.* Robert Oppenheimer: Letters and Recollections. Stanford University Press, 1995 (впервые опубликовано Harvard University Press в 1980).
3. *Finkel S.* Purging the Public Intellectual: the 1922 Expulsions from Soviet Russia // The Russian Review. №62 (October 2003). P.589—613.
4. Юлий Борисович Харитон. Путь длиной в век. М., 1999.
5. *Зельдович Я.Б.* Юлий Борисович Харитон и наука о взрыве // Вопросы современной экспериментальной и теоретической физики / Под ред. А.П.Александрова. Л., 1984. С.32—37.
6. *Gowing M.* Britain and Atomic Energy, 1939—1945. L., 1964. P.45—89.
7. *Herken G.* Brotherhood of the Bomb. N.Y., 2002. P.31.
8. *Hoddeson L. et al.* Critical Assembly: A Technical History of Los Alamos during the Oppenheimer Years, 1943—1945. Cambridge, 1993. P.401—402.
9. *York H.* The Advisors: Oppenheimer, Teller and the Superbomb. San Francisco, 1976.

# Новости науки

## Астрофизика

### Двойной радиопульсар

С тех пор как в 1967 г. были открыты пульсары — вращающиеся с колоссальной скоростью нейтронные звезды, испускающие узкие пучки радиоизлучения, — новые сведения о них все более усложняют картину. Недавняя информация австралийских ученых, работающих на 64-метровом радиотелескопе Обсерватории в Парксе (штат Новый Южный Уэльс), подтверждает это.

В созвездии Корна на небе Южного полушария ими открыт весьма яркий пульсар, получивший по своим небесным координатам обозначение PSR J0737-3039 А. Установлено, что он вращается вокруг оси, делая 44 полных оборота в секунду. Еще примечательнее то, что одновременно пульсар обращается вокруг другого небесного тела, которое первоначально было принято за невидимую с Земли непulsирующую нейтронную звезду. Эксцентричная орбита этой двойной системы небесных тел, которая совершает полный оборот всего за 2,4 ч, привела астрономов к мысли, что перед ними самая тесная из нескольких известных доселе пар, состоящих из пульсара и простой нейтронной звезды.

Первые же сообщения о новой двойной системе привлекли к ней внимание ученых во многих странах, в том числе коллектива британской обсерватории Джодрелл-Бэнк во главе с Э.Лайном (А.Луне). Ими установлено, что второй объект тоже пульсирует, но этот пульсар «В» по сравнению с пульсаром «А» вращается значительно медленнее, совершая один полный оборот за 2,8 с. Самое же примечательное состоит в том, что смещающаяся орбита обоих тел благодаря трудно уловимому излучению пульсара «В» позволяет судить об их массах. Для других двойных нейтронных

звезд эти массы не поддаются измерению, что затрудняет развитие релятивистских теорий тяготения. (В данном случае общая теория относительности Эйнштейна требует, чтобы объекты ежесуточно сближались на 7 мм и наконец столкнулись примерно 85 млн лет спустя. Такое событие неизбежно должно привести к возникновению мощных гравитационных волн.)

Такие эффекты с довольно высокой точностью были подтверждены в 1974 г. при наблюдениях за первой двойной системой пульсаров, именуемой PSR B1913+16. Тогда измерения сокращающейся орбиты этой пары (что связано с излучением гравитационных волн) впервые полностью подтвердили общую теорию относительности и сам факт существования гравитационных волн, дотоле считавшийся гипотетическим. Авторы этой работы Р.А.Халс (R.A.Hulse) и Дж.Х.Тейлор (J.H.Taylor) были заслуженно удостоены Нобелевской премии по физике 1993 г.

Объекты новой двойной системы обращаются в плоскости, образующей очень малый угол с лучом зрения с Земли. Из-за такого расположения регулярно наблюдаются покрытия (затмения) одного из тел другим, когда более быстрый пульсар скрывает своего компаньона каждый раз на 20—30 с. Медленный пульсар совершает постоянные проходы сквозь потоки заряженных частиц и радиации своего напарника, что вызывает мигание пульсара «В». Такие явления, по мнению радиоастронома Р.Манчестера (R.Manchester; Национальный австралийский центр управления телескопом в Эппинге, штат Новый Южный Уэльс), предоставляют новые возможности для изучения нейтронных звезд. Астрофизикам и физикам исследование подобных объектов сулит прояснение вопросов, как «ведет себя» всемирное тяготение вблизи компактных звезд, каким образом пульсары порождают свои необычайно мощные радиолучи и т.п.

Новооткрытая система расположена близко к Земле — всего в 2 тыс. св. лет; в нашей Галактике таких объектов могут насчитываться сотни или даже тысячи. Специалисты полагают, что во множестве они должны скрываться и в более далеких областях Вселенной.

Science. 2004. V.303. №5655. P.153; №5661. P.1143, 1153 (США); [www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1094645](http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1094645)

## Астрономия

### Планета «командует» своей звездой

Обычно масса планеты в тысячи раз меньше, чем у звезды, вокруг которой она обращается, и ее влияние на звезду относительно невелико, даже если в абсолютных величинах планета подобна гиганту Юпитеру. Обратное явление открыли канадские астрономы, руководимые аспиранткой Е.Школьник (Е.Shkolnik; Университет провинции Британская Колумбия в Ванкувере). За четыре года до этого М.Кунц (М.Cuntz; Университет штата Техас в Арлингтоне, США) с коллегами в своей теоретической работе высказали предположение, что любая гигантская планета, обращающаяся вокруг своей звезды по очень близкой к ней орбите, в принципе способна вызвать значительные и уловимые изменения в атмосфере «своего Солнца», что может быть обусловлено ее магнитными силами или тяготением. Но тогда многие специалисты отвергли эту гипотезу, считая, что случайные колебания в самой звезде должны скрыть сравнительно слабый сигнал, сделав его неразличимым.

Вопреки мнению большинства, молодые ванкуверские ученые решили провести соответствующие наблюдения, используя 3,6-метровый канадско-франко-гавайский телескоп обсерватории Мауна-Кеа (о.Гавайи).

Объектами исследований стали пять небольших солнцеподобных звезд, каждая из которых обладает планетой, совершающей вокруг нее полный оборот за 3—5 сут, орбита же их проходит вдесятеро ближе к звезде, чем Меркурий от Солнца.

Наблюдения велись в ультрафиолетовой части спектра в поисках «избыточного» излучения, которое должно быть связано с возбужденными атомами кальция в слое газов, находящемся непосредственно над видимой поверхностью звезды — в ее хромосфере. Это излучение было найдено у звезды HD 179949.

Более того, его интенсивность подчиняется орбитальному периоду ближайшей планеты, составляющему 3.1 земных суток. Горячая точка в атмосфере звезды «подчинялась» влиянию планеты более года подряд. Ее температура на 400°C превышала температуру окружающей массы газов. Яркая область совершала обороты с большей скоростью, чем сама звезда, период вращения которой составляет 9.1 земных суток.

Заслушав доклад Школьник на конференции Американского астрономического общества (Атланта, январь 2004 г.), теоретик Кунц, предсказавший это явление, указал на возможность его использования для определения интенсивности магнитных полей у подобных экзопланет. Горячее пятно, порождаемое воздействием такого небесного тела, вероятнее всего, связано с магнитными взаимодействиями планеты и звезды, при которых магнитные силовые линии обоих тел активно переплетаются между собой, образуя весьма сложное поле, которое наблюдается, например, у Юпитера или на нашем Солнце, когда возникают яркие вспышки<sup>1</sup>. Астроном Г.Басри (G.Basri; Университет штата Калифорния в Беркли) отметил сходство обнаруженного явления с тем, что происходит с ближайшим крупным спутником Юпитера — Ио: многочисленные вулканы на Ио выбрасывают огромные массы заряженных частиц, что вызывает всплески радиоизлучения в магнитном поле Юпитера и полярные сияния в его атмосфере.

Science. 2004. V.303. №5657. P.461 (США).

<sup>1</sup> См. также: Ритмика магнитных процессов на Солнце // Природа. 2004. №11. С.73.

## Астрономия

### Последствия самых мощных вспышек на Солнце

28 октября 2003 г. на Солнце почти одновременно произошли две очень мощные вспышки. Первую из них специалисты отнесли к наивысшему классу X, к категории X-17; она была третьей по интенсивности с тех пор, как в середине 1970-х годов искусственные спутники Земли были снабжены оборудованием для измерения их мощности. Спустя несколько суток в области того же солнечного пятна зарегистрировали еще более интенсивную вспышку (категория X-28), которая оказалась самой сильной за всю эру спутниковых наблюдений.

На основе анализа этих событий геомагнитологи Ч.Дир и Д.Луммерцхайм (Ch.Deehr, D.Lummerzhaim; Геофизический институт при Университете штата Аляска) сделали прогноз, согласно которому в самом конце октября и в течение двух ночей ноября предстоит серьезнейшее повышение авроральной (связанной с полярными сияниями) активности на Земле; затем аналогичные события должны были последовать в том же месяце еще на протяжении примерно трех суток. Прогноз полностью подтвердился; по Интернету ученые получили массу сообщений от наблюдателей полярных сияний, в этот раз отмечавшихся даже на южном небе, вплоть до Мадрида.

Первая же вспышка вывела из строя оборудование ИСЗ «ADEOS-2», запущенного 10 месяцами ранее для сбора данных о процессах глобального потепления и других климатических явлениях. Полностью перестали работать приборы японского спутника стоимостью около 640 млн долл. Установлено, что скорость выбрасываемых Солнцем заряженных частиц достигала тогда 2.5 тыс. км/с.

20 ноября 2003 г. в результате вращения Солнца вокруг своей оси область его магнитной активности вновь оказалась «напротив» Земли. Выброс корональной массы в сторону нашей планеты вызвал геомагнитную бурю, занимающую второе место по интенсивности среди всех подобных событий, известных специалистам. Первое

же место до сих пор принадлежит геомагнитной буре, случившейся в марте 1989 г. и приведшей к отключению линий электропередачи по всей территории канадской провинции Квебек.

Geophysical Institute Quarterly. 2004. V.18. №4. P.4 (США).

## Планетология

### Оценка лунных ресурсов

Согласно американским планам, в 2014 г. человек должен «вернуться» на Луну. Причем не как кратковременный посетитель, а как поселенец — сперва на много суток, а затем и по вахтенному методу через каждые несколько месяцев. Если астронавты «Apollo» привозили все запасы воздуха, воды и пищи с Земли, то в будущем необходимо изыскать основные средства жизнеобеспечения на месте. Определить же, есть ли они там, в каком количестве и насколько доступны, следует уже сегодня.

Вода нужна не только для питья, но и для дыхания — ее можно разложить на кислород и водород. Эти элементы нужны также для получения ракетного топлива — нескольких тонн водородно-кислородного горючего достаточно, чтобы поднять ракету с лунной поверхности и вывести в космос. Отсюда — важность существования залежей водяного льда. Теоретически, лед должен попадать на Луну вместе с кометами, и он мог тысячелетиями сохраняться в темных холодных кратерах у обоих полюсов. Добывать оттуда воду и дистиллировать — проблема технически не слишком сложная. Однако у специалистов нет единства во мнении, сколько влаги там накопилось.

Радиолокационное зондирование лунной поверхности космическим аппаратом «Clementine» и анализ отраженных волн показали: около южного полюса имеются участки, по характеристикам отражения сходные с кристаллами замерзшей воды. Можно полагать, что здесь около 1.5% поверхности составляет лед.

В 1998 г. на лунную орбиту был выведен аппарат «Lunar Prospector» («Лунный геолог»). Его спектрометр, способный вести счет нейтронам, отражаемым поверхностью небесного тела в диапазоне энергий, характер-

ных для взаимодействий с водородом, т.е. со льдом водного происхождения, показал, что грунт в приполярной области содержит 0.5–1.0% льда. Это, конечно, меньше, чем обнаружили приборы «Clementine», но все же достаточно, чтобы построить в высоких широтах лунную базу.

О противоположных результатах говорят эксперименты, поставленные сотрудниками Корнеллского университета (Итака, штат Нью-Йорк) во главе с физиком Д.Кемпбеллом (D.Campbell). Используя радиотелескоп обсерватории Аресибо на о.Пуэрто-Рико, они дважды провели эхолокацию Луны радиоволнами, но свидетельств существования воды в каком-либо виде не нашли. И когда «Lunar Prospector», завершив миссию, упал в районе южного полюса Луны, в фонтане выброшенного с поверхности реголита следов воды тоже не обнаружилось. И так, проблема наличия H<sub>2</sub>O на Луне остается нерешенной.

Азот, кислород и углерод, попадающие на Луну в составе солнечного ветра, присутствуют в реголите Луны лишь в следовых количествах (их концентрация не превышает и нескольких долей на миллион). Другое дело — гелий. Он редок на Земле и в долгосрочном плане своей ценностью превосходит многое, что мы ожидаем от «приручения» Луны. Только пользу от него, вернее всего, получают земляне, а не астронавты, и будет это еще очень нескоро.

<sup>3</sup>He поступает на Луну тоже с солнечным ветром. Он сможет играть роль топлива в будущих термоядерных энергетических реакторах. При слиянии ядра атома этого изотопа с ядром атома дейтерия выделяется огромная энергия, причем радиоактивных отходов образуется сравнительно немного. Физик Дж.Кульчински (G.Kulcinski; Университет штата Висконсин) подсчитал: если заменить все существующие электростанции США реакторами, работающими на <sup>3</sup>He и дейтерии, потребуется лишь 40 т этого топлива, чтобы обеспечить электроэнергией страну на уровне текущего года. Беда в том, что на Земле сегодня доступны для использования всего несколько сот килограммов <sup>3</sup>He. Зато в лунном реголите, по всей видимости, содержатся миллионы тонн этого изотопа. Однако реактора, работаю-

щего на <sup>3</sup>He, физики еще не сконструировали, и неизвестно, сколько десятилетий потребуется для постройки соответствующей термоядерной электростанции. И еще — каким образом можно будет доставлять на Землю гелий, добываемый на Луне?

Так что амбициозное заявление руководства США о том, что через 10 лет человек сможет не только высадиться на Луне, но и жить там, поставляя нужное землянам, остается проблематичным.

Science. 2004. V.303. №5664. P.1603 (США).

## Метеоритика

### Сбор метеоритов в пустыне

Оказывается, на Земле есть места, где обычных камней практически не бывает: например, на ледяном куполе Антарктиды или в песчаных пустынях Сахары. Поэтому любой найденный там булыжник мог появиться не иначе, как... упав с неба! Рай для специалистов по метеоритам — ходи и собирай. Правда, работать в экстремальных условиях Сахары и Антарктиды нелегко. В первую очередь там приходится думать о собственном выживании. Но результаты поиска того стоят. Первые походы «по метеориты» начались в Антарктике в 1966 г. и принесли отличный урожай. Сейчас японские ученые пытаются автоматизировать этот процесс: создают робот, который сам бы ползал по ледяному полю в поиске космических камней.

А тем временем не сидят без дела любители теплого климата. Сначала охотники за метеоритами прочесывали пустыни на западе США, в Австралии и на севере Африки, а в последнее время облюбовали Центральный Оман на Аравийском п-ове. В 2001—2003 гг. там провели полевые сезоны Э.Гнос и А.Аль-Катрири из Института геологии в Берне (Швейцария) вместе с Б.Хофманом из бернского Музея естественной истории<sup>1</sup>. Ученых привлекли туда сообщения любителей охоты за метеоритами, обнаруживших несколько великолепных экземпляров.

<sup>1</sup> Hofmann BA, Gnos E, Al-Kathiri A. // Proceedings of the III European Workshop on Exo/Astrobiology (ESA SP-545, March 2004). P.73—76.

Швейцарские специалисты решили действовать систематически. Они провели в пустыне три зимних сезона, исколесив на джипе почти 12 тыс. км. Затратив в общей сложности 339 человеко-дней, они собрали около 3700 метеоритов общим весом 1334 кг! Предварительный анализ показал, что это осколки 150—200 падений. Все метеориты были обнаружены по их темному цвету на фоне светлого известнякового песка. Обычно «небесный камень» замечали в пределах 30 м от машины, хотя некоторые образцы обнаруживались и на расстоянии до 200 м. Вес метеоритов различный: от менее 1 г до более 200 кг; чаще всего попадались экземпляры от 10 до 100 г. Пробный поиск пешими маршрутами показал, что с борта автомобиля обнаруживаются не все мелкие метеориты, но в целом автомобильные рейды были значительно урожайнее.

Поскольку Аравийская пустыня — довольно безжизненное место, исследователи надеялись, что хотя бы на некоторые метеориты не попали земные микробы и они могут послужить отличным материалом для астробиологических исследований. Поэтому, обнаружив подозрительный камень, ученые к нему не прикасались голыми руками, а завертывали в алюминиевую фольгу и клали в полипропиленовый контейнер. Координаты находки фиксировали с помощью системы GPS. Непосредственно под метеоритом и в 10 м от него брали пробы песка.

Изучение собранных метеоритов еще только начинается, но уже ясно, что проведенные в жаркой пустыне дни принесли великолепный урожай. Выявлено несколько осколков Луны и один метеорит, с высокой вероятностью прилетевший с Марса! Этот шестисантиметровый осколок, получивший обозначение SaU-094, стал жемчужиной собранной коллекции. Так и хочется спросить: «Зачем же нужны космические полеты? Пока инженеры тратят миллиарды долларов на подготовку экспедиции за марсианским грунтом, три исследователя едут на джипе в пустыню и привозят оттуда кусочек Марса!» Но не все так просто: если бы ученые не располагали результатами анализа лунного и марсианского грунта, то кто бы смог дога-

даться, что именно эти неприметные камушки в полутонной коллекции метеоритов — пришельцы с Луны и Марса?

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

**Физика**

**Упорядоченная плазма**

Необходимое условие существования плазмы — высокая температура: она мешает электронам ионизированного газа воссоединиться с ионами. Однако хаотическое тепловое движение препятствует также и упорядочению частиц (кристаллизации), к которому могло бы в принципе привести кулоновское взаимодействие между ними (ионы отталкиваются от ионов, электроны — от электронов, а ионы и электроны притягиваются друг к другу). Упорядочить частицы можно было бы при сверхнизкой температуре, но для существования холодной плазмы требуется экзотическое окружение — оболочка нейтронной звезды или внутренность гигантской газовой планеты.

А как добиться того же эффекта в лабораторных условиях? Один из вариантов — лазерное охлаждение, но он чисто гипотетический: плазма настолько быстро расширяется в окружающий ее вакуум, что лазер просто не успевает сделать свое дело. Оригинальный выход из ситуации предло-

жили К.Е.Симин с коллегами<sup>1</sup>: вместо того чтобы долго и мучительно остужать горячую плазму, они сначала охладили газ нейтральных атомов до  $T_a \sim 1$  мК, а затем превратили его в плазму, используя лазерные импульсы с энергией  $E_\gamma$ , чуть большей энергии ионизации  $E_i$ . Температура электронной подсистемы  $T_{el}$ , определяемая величиной разности  $E_\gamma - E_i$ , может по желанию экспериментатора изменяться в диапазоне 1—1000 К, а температура ионной подсистемы  $T_{ion}$  остается практически равной  $T_a$ , поскольку масса ионов близка к массе атомов. Спустя несколько сотен наносекунд  $T_{el}$  и  $T_{ion}$  выравниваются на отметке  $\sim 1$  К. Вот теперь, чтобы довести температуру плазмы до уровня  $\sim 1$  мК, имеет смысл подключить хорошо развитые методики лазерного охлаждения.

Численное моделирование, основанное на методе молекулярной динамики, показало, что таким образом можно достичь кристаллизации плазмы. Если время охлаждения меньше характерного времени расширения плазмы, ионы образуют концентрические оболочки, каждая из которых упорядочена с двумерной гексагональной симметрией.

Дело за экспериментом — его предполагается провести в самое ближайшее время.

Nature. 2004. V.429. №6994. P.815—817;  
[http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4\\_14/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4_14/index.htm)

**Генетика.  
Молекулярная биология**

**«Сорная» ДНК — ключ к пониманию сложности?**

В геномах всех видов многоклеточных есть интроны, некодирующие участки ДНК, в которых, по мнению ученых, может заключаться секрет сложности этих организмов, в том числе человека. Функции интронов пока не выяснены, их даже называют «сорной ДНК». Однако ныне, когда расшифрованы полные геномы многих видов, выяснилось, что среди «сорной» ДНК есть участки, сохраняющиеся неизменными в ходе эволюции лучше, чем гены.

Австралийские молекулярные биологи во главе с Дж.Маттиком  
<sup>1</sup> Simien C.E. et al. // Phys. Rev. Lett. 2004. V.92. P.143001.

(J.Mattick; Университет штата Квинсленд) вместе с американскими коллегами из Университета штата Калифорния в Санта-Крус сравнили геномы человека, крысы и мыши и обнаружили 481 фрагмент ДНК (протяженностью более 200 пар нуклеотидов каждый) с идентичными последовательностями. Затем были изучены геномы других животных, чьи филогенетические линии отделились от трех упомянутых видов раньше, чем те обособились. В геномах собаки и коровы тоже оказались такие же фрагменты; большинство подобных участков содержалось в геноме курицы и примерно половина — в геноме рыб. Это означает, что некоторые из найденных последовательностей не изменились на протяжении более чем 400 млн лет. Участки же, кодирующие белки, т.е. экзоны, медленно изменялись в ходе эволюции.

Из общих принципов эволюции следует: чем консервативнее тот или иной участок генома, тем важнее и универсальнее функции, которые он выполняет. Значит, ультраконсервативные фрагменты ДНК крайне важны для работы организма, хотя пока совершенно непонятно, зачем они нужны. Лишь некоторые из этих участков перекрываются с экзонами, тогда как другие полностью лежат за их пределами. Но все они расположены рядом с генами, участвующими в онтогенезе, и почти наверняка вовлечены в регуляцию их активности.

Неожиданные результаты сравнения геномов могут указывать на необходимость обратить внимание на новую область генетики, которая дополняла бы протеомику, т.е. изучение белковых генных продуктов. По Маттику, белки подобны набору структурных элементов, из них, как из кубиков, можно собирать самые разные организмы; последние полвека в молекулярной биологии и биохимии как раз изучались только эти элементы. Однако, по мнению ученого, должен существовать еще один обширный уровень кодирования информации, определяющий, какие из структурных элементов и в каком порядке будут собраны воедино и какие системы будут контролировать их работу. Возникновение сложных организмов Маттик уподобил переходу от аналоговых систем управления к цифровым.



Кристаллизация нейтральной плазмы при лазерном охлаждении (результаты компьютерного моделирования).

Простые (одноклеточные) организмы по существу — аналоговые устройства, в которых белки используются и для функционирования, и для управления. Этот способ организации исчерпал свои возможности. Появление и усложнение многоклеточных началось тогда, когда возникла «цифровая» система управления, которая и стала основой организации роста и развития особи. То, чем генетики долгое время пренебрегали как «мусором», возможно, откроет секрет сложности организма, в частности человеческого.

Science. 2004. V.304. №5675. P.1321—1325 (США).

## Генетика

### Удвоение генома дрожжей в ходе эволюции

Удвоение (дупликация) лежит в основе одного из эффективных механизмов эволюции, так как из дубликатов возникают новые гены за счет мутаций и отбора. Дублицироваться могут не только отдельные гены, фрагменты генома, но и целые геномы. Благодаря дубликации генома организм в состоянии приспособиться к качественно новым условиям среды. В результате удвоения генома нормального (диплоидного) организма возникает аномальный (тетраплоидный). В теории дальнейшая эволюция потомков такого организма с четырьмя наборами хромосом должна привести к постепенной нормализации его генома за счет мутаций, выпадений и перегруппировок генов. Эти теоретические заключения нашли подтверждение, одно из них получено недавно на примере пекарских, или пивных, дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*).

Предположение, что геном пекарских дрожжей — продукт удвоения генома предкового вида, уже высказывалось ранее и было убедительно обосновано<sup>1</sup>. Новые исследования, проведенные сотрудниками Массачусетского технологического института и Гарвардского университета, позволяют считать это предположение доказанным<sup>2</sup>. Сравним геномы *S.cerevisiae* и его

<sup>1</sup> Wolfe K.H., Shields D.C. // Nature. 1997. V.387. P.708—713.

<sup>2</sup> Kellis M. et al. // Nature. 2004. V.428. P.617—624.

близкого родственника *Kluyveromyces waltii*, ученые обнаружили, что каждому относительно протяженному участку ДНК *K.waltii* соответствуют два близких по нуклеотидной последовательности фрагмента у *S.cerevisiae*. В хромосомном наборе у пекарских дрожжей 16 пар хромосом, а у *K.waltii* — 8 пар, и каждой из них соответствуют две пары *S.cerevisiae*. Следовательно, общий предок обоих видов дрожжей имел не удвоенный геном, дупликация которого и привела к возникновению пекарских дрожжей. По-видимому, разделение предкового вида дрожжей, давшее современные *S.cerevisiae* и *K.waltii*, произошло около 100 тыс. лет назад, в середине мела.

Эти результаты позволили проследить судьбу каждого из удвоенных генов. Оказалось, что почти в 95% случаев каким-либо изменениям подвергся лишь один ген из каждой пары, причем чаще всего (90%) это были делеции (выпадения участков нуклеотидной последовательности). На этой основе для каждого гена *S.cerevisiae* удалось установить, унаследованы ли его функции от общего с *K.waltii* предка или же они возникли после удвоения генома и, таким образом, представляют собой новоприобретенные свойства.

Доказательства дубликации генома пекарских дрожжей в ходе эволюции независимо получены и в двух более поздних работах<sup>3</sup>. Кроме того, в последней из них построено древо эволюционных связей между *S.cerevisiae* и четырьмя другими видами дрожжей. Для каждого из исследованных видов определены основные генетические механизмы, лежавшие в основе его эволюции.

© Петров П.Н.,

кандидат биологических наук

Москва

## Биология развития

### Война зрения с обонянием

Известно, что у тех видов животных, которым присущи зоркость и способность различать цвета, обоняние развито посредственно. И наоборот — хороший нюх зачастую сопровождается

<sup>3</sup> Dietrich F.S. et al. // Science. 2004. V.304. P.304—307; Dujon B. et al. // Nature. 2004. V.430. P.35—44.

низкой остротой зрения и дальтонизмом. Человек — не исключение. Анализ показывает, что из той тысячи генов, которые отвечают у людей за обоняние, не работают около 60% (их называют псевдогенами). А вот у собак и мышей, которые, в отличие от нас, цветов не различают, обонятельные псевдогены составляют не более 20%.

Группа генетиков-эволюционистов во главе с С.Пяябо (S.Pääbo; Институт эволюционной антропологии Общества им. Макса Планка, Германия) провела сравнительный анализ генов, которые отвечают за обоняние и зрение у высших и низших обезьян, населяющих как Старый, так и Новый Свет. Исследование подтвердило, что видам с развитым зрением присуще посредственное обоняние, и наоборот. Так, обезьяны Азии и Африки хорошо различают цвета, но около 30% отвечающих за обоняние генов у них не работают. В то же время у большинства видов низших обезьян Америки нет генов, отвечающих за восприятие цвета, зато из всех, связанных с обонянием, псевдогены составляют не более 20%. Не обошлось, впрочем, без исключений: южноамериканские обезьяны ревуны (*Alouatta*) воспринимают запахи и видят примерно так же, как азиатские и африканские приматы.

Исследователи пришли к выводу, что зрительные способности у обезьян в Азиатско-Африканском и Американском регионах развивались независимо, но и там, и там этот процесс сопровождался утратой части обонятельных рецепторов. Эколог-эволюционист Н.Домини (N.Domini; Чикагский университет, США) высказал предположение, что такая природная «делка» понадобилась из-за анатомических ограничений: зрительные и обонятельные области в коре головного мозга занимают весьма много места и потому не могут развиваться одинаково хорошо.

Science. 2004. V.303. №5658. P.621 (США); Public Library of Science. Biology. 2004. January. P.20 (США).

## Медицина. Цитология

### Полиплоидия мышечных клеток сердца

Соматические клетки, в отличие от половых, содержат двойной набор хромосом. Такие диплоидные клетки

составляют абсолютное большинство в нашем организме, но среди них встречаются и с кратно увеличенным числом диплоидных хромосомных наборов — их называют полиплоидными. Принято считать, что биологический смысл полиплоидии — увеличение размера клеток и связанный с этим рост их продуктивности. В сердце млекопитающих большая часть рабочих мышечных клеток (кардиомиоцитов) в норме обязательно полиплоидные. Однако до недавнего времени зависимость между степенью полиплоидизации и функцией сердца не исследовалась. Поскольку полиплоидия связана с изменением профиля генной экспрессии, можно предполагать, что полиплоидные клетки имеют иные свойства, нежели диплоидные. Поэтому актуальной представляется работа О.В.Анацкой и А.Е.Виноградова (Институт цитологии РАН), посвященная морфофункциональным свойствам кардиомиоцитов млекопитающих при разной плоидности<sup>1</sup>.

Исследовав геномы кардиомиоцитов 18 видов млекопитающих из шести отрядов, авторы обнаружили, что при полиплоидизации снижается функциональный потенциал сердца. Этот показатель (его оценивали по отношению массы сердца к массе тела) отражает способность животного к длительному бегу без кислородного голодания. Оказалось, что у млекопитающих с активным образом жизни степень полиплоидизации меньше. Интересно, что ранее точно такая же закономерность была обнаружена у птиц<sup>2</sup>.

С увеличением полиплоидизации кардиомиоцитов снижается количество белка в расчете на геном. Это негативно сказывается на важнейшей особенности этих клеток — их сократительной активности, так как почти весь белок, синтезируемый кардиомиоцитами, необходим именно для мышечного сокращения. Неожиданным оказалось и то, что активность ядрышек в клетках возрастала, несмотря на падение концентрации белка. Вероятно, здесь сказывается нарушение равновесия между производством белок-синтезирующих машин (рибосом), с одной стороны, и биосинтезом белка, с другой.

<sup>1</sup> Анацкая О.В., Виноградов А.Е. // Цитология. 2004. Т.46. №2. С.105—113.

<sup>2</sup> Anatskaya O.V., Vinogradov A.E. // J. Exp. Zool. 2002. V.293. P.427—441.

Объединив эти данные с результатами своего предыдущего исследования, авторы делают вывод, что сердце млекопитающих, ведущих неактивный образ жизни, содержит высокоплоидные клетки и работает при этом в условиях меньшего обеспечения энергией, чем сердце более активных животных, т.е. полиплоидизация совсем не выгодна для сердца с точки зрения энергообмена. Однако при этом исследователи полагают, что сердцу как органу, работающему на пределе метаболических возможностей, полиплоидия необходима для защиты от оксидативного повреждения. Дополнительные копии геномов — это своеобразный резерв для нейтрализации оксидативного стресса.

Таким образом, полиплоидию кардиомиоцитов млекопитающих можно рассматривать как некий защитный механизм, имеющий, однако, заметный отрицательный побочный эффект — снижение функционального потенциала сердца.

© Липина Т.В.,

кандидат биологических наук  
Москва

## Зоология. Герпетология

### Как живет комодскому дракону?

С начала прошлого века, когда на индонезийском острове Комодо нашли самую крупную из ныне живущих ящериц — комодского дракона (*Varanus komodoensis*), этот варан остается наиболее фантастическим, легендарным и привлекающим внимание представителем мировой герпетофауны. Однако несмотря на то, что ему посвящено несметное количество научно-популярных публикаций, что комодский варан внесен в Международную Красную книгу и Книгу зоологических рекордов, что он стал героем фильма ужасов, научно достоверные сведения о нем остаются на удивление скудными.

Известно, что этот вид встречается на нескольких островах южной части Индонезии. Но только собственно на о.Комодо проводятся более или менее регулярные оценки численности уникального вида. В то же время на трех других островах, включаемых в ареал дракона (в том числе на самом крупном — о.Флорес), учеты не проводи-

лись уже более 30 лет. Исследователи К.Циофи (С.Ciofi; Йельский университет, США) и М.де Бёр (M.de Boer; Свободный университет в Амстердаме, Нидерланды) решили восполнить пробел и провели учеты с помощью ловушек на этих трех индонезийских островах.

Результаты не внушают оптимизма. На острове Падар все ловушки остались пустыми, и никаких следов жизнедеятельности варанов не обнаружено. По всей видимости, комодский дракон здесь больше не живет. На о.Гили Дазами удалось отловить трех, а в нескольких местах обитания на Флоресе — 19 варанов. Специальные исследования показывают, что плотность популяции в этих местах составляет от 1 экз. на 212 га до 1 экз. на 52 га. При сравнении с имевшимися сведениями выяснилось, что, во-первых, плотность населения варанов на о.Комодо существенно выше, чем на других островах, и, во-вторых, ареал и численность вида серьезно сократились за последние десятилетия. Одна из основных причин исчезновения ярчайшего представителя мировой герпетофауны — браконьерское уничтожение местных оленей: дело в том, что взрослые вараны питаются преимущественно этими парнокопытными.

Хотя ученым известен экземпляр варана длиной 3.1 м, исследователям не удалось обнаружить гигантских представителей этого вида ящериц — они очень осторожны и ведут скрытный образ жизни. Самый большой варан, пойманный Циофи и де Бёр, имел длину 184 см (с хвостом).

Ученые отмечают, что дальнейшее разрушение природных биотопов на о.Флорес неминуемо приведет к полному исчезновению здесь комодских драконов.

Herpetological Journal. 2004. V.14. №2. P.99—107 (Великобритания).

## Организация науки. Сельское хозяйство

### Премия за гибридные сорта риса

Одна из наиболее престижных премий в области развития земледелия — «World Food Prize» — основана миллионером-филантропом Дж.Руаном из американского штата Айова,

известного своими сельскохозяйственными успехами. В 2004 г. эту награду разделили биолог-растениевод М.Джонс (M.Jones; Сьерра-Леоне) и специалист по выращиванию риса генетик Юан Лонпин (Yan Longping; Китай).

Джонс, ныне исполнительный секретарь организации «Форум сельскохозяйственных исследований» со штабом в Аккре (Гана), удостоен этой чести за создание гибридного сорта риса, превосходно приспособленного для возделывания в суровых условиях Западной Африки. Выведенный им сорт уже хорошо оправдал себя в реальных условиях и помог прокормить тысячи небогатых фермеров Черного континента.

Другой лауреат премии «World Food Prize» возглавляет китайский Национальный центр по изучению гибридного риса в Чаньша (провинция Хунань), где под его руководством разработаны генетические методы создания и выращивания новых сортов, успешно применяющиеся с 1970-х годов.

Денежная часть премии (250 тыс. долл. США) разделена между обоими учеными поровну.

Science. 2004. V.304. №5668. P.205 (США).

## Охрана природы

### Сохранить камчатских лососей

В России началась реализация проекта «Сохранение биоразнообразия лососевых Камчатки и их устойчивое использование», совместно разработанного Программой развития ООН (ПРООН — UNDP), Глобальным экологическим фондом (ГЭФ — GEF) и Правительством РФ<sup>1</sup>. Камчатка выбрана потому, что именно здесь сохранились условия естественного воспроизводства лосося, сосредоточена примерно пятая часть его мировых запасов и наблюдается самое большое разнообразие (11 видов, из которых пять — промысловые). За последние 10 лет объем хозяйственной деятельности в регионе уменьшился вдвое, и ныне большинство жителей (включая коренные народы) выживают благодаря ловле ло-

<sup>1</sup> Пресс-релиз Информационного центра Проекта ПРООН/ГЭФ. 27 апреля 2004 г.

сося. Отсюда — важность достижения главной цели проекта — продемонстрировать возможность сохранения биоразнообразия лососевых в условиях устойчивой хозяйственной деятельности. Иначе говоря, можно таким образом организовать вылов рыбы, чтобы максимально сохранить биоразнообразие и целостность экосистем.

Согласно проекту, работу предстоит вести прежде всего в четырех речных системах западной части Камчатского п-ова. На **р.Большой**, где нерестятся местные формы речного и озерного гольца и крупнейшее в мире стадо горбуши, вылов предполагается наладить так, чтобы поддерживалось лососевое и нерососевое биоразнообразие. В бассейне рек **Коль и Кехта** дважды в год (на каждую предстоящую путину) будут устанавливать квоты с учетом состояния промысловых видов лососей. На привлекательной для спортивных рыболовов **р.Сопочной** (здесь нерестятся шесть видов тихоокеанских лососей, два вида гольца, крупные популяции различных форм микижи) планируют развивать экотуризм. На реках **Утхолк и Квачина**, где семгой кормятся белуха, камчатский бурый медведь, выдра, 51 вид птиц, пять видов тюленей и др., совместное управление лососевыми должно стать основой поддержания целостности экосистемы.

Разработчики проекта намереваются создать научно-информационную базу биоразнообразия, системы его мониторинга и охраны; привлечь к этой деятельности жителей проектных зон (разъяснив им выгоды сохранения биоразнообразия); организовать для местного населения альтернативные браконьерству источники существования (малый бизнес, экотуризм, спортивная рыбалка); выработать долговременный механизм финансирования этих программ (претворение в жизнь первой фазы проекта — с сентября 2003 г. по сентябрь 2007 г. — обойдется в 3 млн долл. США).

Руководит осуществлением проекта ПРООН/ГЭФ «Сохранение биоразнообразия лососевых Камчатки и их устойчивое использование» известный специалист по лососевым С.А.Синяков.

© Жукова Е.Е.

Москва

## Охрана природы

### Летучая мышь против ветровой энергетики

Получение ветровой электроэнергии считается экологически безвредным процессом. Однако летом 2003 г. американские зоологи насчитали около 500 трупов летучих мышей, погибших в районе ветровой электростанции Маунтанер в штате Западная Вирджиния. Тела этих животных, принадлежащих к девяти различным видам, лежали у подножия 44 турбин, снабжающих электроэнергией промышленность и население значительной части штата.

В связи с удорожанием горючих энергоносителей только в той же местности штата Западная Вирджиния планируется в ближайшие несколько лет возвести еще 366 подобных установок. В штате Калифорния их уже насчитываются многие сотни, причем немалая часть расположена в горных перевалах с интенсивными и постоянными ветрами, но эти же перевалы служат коридором для перелетных птиц, тоже становящихся жертвами столкновений с лопастями турбины.

Science. 2004. V.304. №5668. P.203 (США).

## Геофизика

### Мантийные плюмы множатся

В последнее время среди геофизиков дискуссия ведется не столько о самом существовании мантийных плюмов (хотя часть специалистов все еще отрицает это), сколько об их числе, глубине залегания их «корней» и простирации порождаемых ими горячих точек.

О высокой эффективности сейсмологических методов исследования плюмов говорит работа Р.Монтелли (R.Montelli; Принстонский университет) и ее коллег из Университета штата Колорадо в Боулдере и Национального Тайваньского университета в Тайбее. Они измерили скорость сейсмических волн *P* (продольных колебаний, вызванных землетрясением или взрывом и распространяющих деформацию в направлении своего движения). Так как скорости волн *P* зависят от температуры среды, значит, можно судить

о степени ее разогретости в недрах, об идущей там конвекции, недавних проявлениях вулканизма и даже об изотопном составе глубинных пород. Благодаря этому удается отличать выходы горячих точек от срединно-океанических хребтов или районов залегания базальтов. Наилучший пример — Гавайско-Императорская вулканическая цепочка, которая могла возникнуть по направлению движения Тихоокеанской плиты над глубинным источником магмы. Подобные процессы удается моделировать в лабораторных условиях, а также с помощью компьютера.

И все же бесспорные свидетельства существования плюмов, основания которых находились бы в нижней мантии, отсутствуют. Именно из-за этого возникла гипотеза, что на самом деле горячие точки суть проявления не глубинных процессов; связаны они лишь со стрессами, вызванными образованием в литосфере трещин, вблизи которых и наблюдаются вулканические явления.

В экспериментах авторы использовали метод совместного анализа длиннопериодных и короткопериодных сейсмических волн. Сравнение с данными прежних экспериментов позволило, в частности, установить, каким должен быть реальный минимальный радиус плюма, чтобы стать заметным на томографическом изображении. Были также уточнены глубины, с которых начинает подниматься тот или иной плюм.

Исследования позволили выявить по крайней мере шесть плюмов, простирающихся в самые нижние слои мантии: плюмы островов Вознесения, Азорских и Канарских — в Атлантике; Пасхи, Самоа и Таити — в Тихом океане. Относительно других плюмов, в том числе гавайского, сведения менее достоверны. Обнаружены также несколько плюмов, область которых в основном ограничена верхней мантией. Диаметры всех изучавшихся плюмов измеряются сотнями километров, следовательно, их роль в «утечке» внутренней тепловой энергии Земли во внешнее пространство очень велика.

Всего томографическому изучению подверглись 32 горячие точки на поверхности планеты. Помимо названных, это афарская в Северо-Восточной Африке (глубина около 1450 км, минимальный радиус 200 км),

о-ва Кука (те же глубина и радиус), коралловоморская (исчезает на глубине 1450 км под земной поверхностью), исландская (глубина около 1 тыс. км, радиус 100 км), о. Кергелен (2300 и 400 км), южнояванская (2800 и 300 км) и др. Все они «приписаны» к той или иной плите земной коры.

Science. 2004. V.303. №5656. P.281, 338 (США).

## Сейсмология

### Проблема сейсмического прогноза остается нерешенной

Южная Калифорния — один из наиболее сейсмоопасных районов планеты. Значительная активность недр здесь сочетается с высокой плотностью населения, которое хорошо помнит трагедию Сан-Францисского землетрясения начала XX в. Скрупулезные геофизические исследования позволяли специалистам утверждать, что они достаточно уверенно могут прогнозировать по крайней мере одно из грядущих землетрясений, которое, по их мнению, связано с 25-километровым отрезком более крупного Сан-Андреасского разлома, проходящего через пос.Паркфилд; представлялось, что он продолжал вспарывать земную поверхность примерно каждые 22 года. Однако очередное событие вышло из «расписания»: прошло уже на 10 лет больше, чем называли специалисты, а землетрясения нет как нет. Смущенные провалом прогноза, они указывают: чем дольше накапливается напряжение, тем сильнее будут последствия.

Эту проблему рассмотрели палеосейсмологи во главе с К.Шарер (K.Scharer; Университет штата Орегон в Юджине), которая на конференции Американского геофизического союза (Сан-Франциско, январь 2004 г.) изложила результаты анализа активности недр в пределах того же разлома Сан-Андреас, но в районе пос.Райтвуд, что в 100 км к северу от Лос-Анджелеса. Этот сегмент разлома проявил полную непредсказуемость: все 27 последних толчков происходили вне какой-либо закономерной последовательности. Таким образом, ученых «не слушается» не один только Паркфилдский сегмент.

Для прогнозирования необходимо определить местоположение первич-

ного толчка. У райтвудских событий — это горы Сан-Габриэль, где разлом Сан-Андреас пересекает небольшую болотистую долину, в которую во время ливневых дождей по склонам сносятся скальные обломки. В течение 10 лет долину прорезали более чем 40 траншеями и выявили то самое место, где линия распарывания коры нарушает свежие отложения. Кроме того, взяты пробы болотной органики для анализа по <sup>14</sup>C. В итоге идентифицированы и датированы 27 райтвудских землетрясений, случившихся за два отдельных периода: 3000—1200 г. до н.э. и от 500 г. н.э. и поныне. Оказалось, что смещение разлома в среднем составляло около 3.2 см/год. Полученная величина совпадает с результатами современных геодезических измерений скорости смещения всего разлома Сан-Андреас, так что связь малого разлома с большим очевидна.

Обращает на себя внимание, что в более ранний из названных периодов среднее время между райтвудскими землетрясениями составляло примерно 105 лет, но между одними из них проходили лишь десятилетия, а между другими — свыше 220 лет. Протяженность возникавших при этом сдвигов на одно землетрясение варьирует от 1 до 7 м. Такая информация заставляет признать: прогноз сейсмического события в районе Паркфилда — дело ненадежное. И все же некоторую закономерность удается проследить: существует тенденция учащения и, возможно, усиления здешних землетрясений, а это приводит к разрядке напряжения в недрах; затем этот этап должен смениться периодом более редких и постепенно ослабевающих сейсмических событий, но при этом напряжение снова начнет возрастать. Сейчас, судя по историческим данным, напряжение находится на довольно высоком уровне, и такое состояние может длиться несколько десятилетий, вслед за чем последует либо одно мощное землетрясение, либо ряд средних, завершающихся сильным...

Если большая часть разломов земной коры ведет себя столь же непостоянно, то долгосрочные сейсмические прогнозы в районе их местонахождения малоэффективны. Однако сейсмолог У.Эллсуорт (W.Ellsworth; Геологическое управление США в Менло-Парке, штат Калифорния) считает, что раз-

лом Райтвуд может быть нетипичным. Весь 450-километровый разлом Сан-Андреас состоит из шести отдельных сегментов, южные из них подчиняются одному мощному подземному толчку, а северные — другому. Если же землетрясение будет особенно сильным и все сегменты придут в движение одновременно, то райтвудский участок в их центре должен будет «выбрать», какому из них он следует.

Science. 2004. V.303. №5656. P.306 (США).

## Гляциология

### Трудное время для земных ледников

«Сокращения гляциосферы: факты и анализ» — так назывался XIII гляциологический симпозиум (Санкт-Петербург, 24–28 мая 2004 г.), в котором участвовало свыше 150 специалистов из 12 стран (Великобритании, Германии, Израиля, Казахстана, России, США, Узбекистана, Украины, Франции, Чехии, Швейцарии, Эстонии). В докладах отражены результаты теоретических и практических исследований, касающихся оледенения, снежного покрова, лавин и селей. Наибольшее число работ о современном состоянии и динамике горных ледников представили российские ученые, проводившие исследования на Северном Кавказе, Урале, Камчатке, Алтае и полярных архипелагах, в Якутии, Хабаровском крае, Восточной Сибири и др.). Таким образом, с помощью наземных наблюдений, космических снимков и геоинформационных технологий почти во всех районах отмечена устойчивая тенденция сокращения оледенения на фоне глобального потепления.

Анализ колебаний ледников Европы свидетельствует об отрицательном балансе их массы во всех районах, кроме Скандинавии. Особенно сильно сокращались ледники в Центральной Европе в 2003 г., отличавшемся исключительно высокой температурой воздуха. Динамика европейских ледников на 60% определяется индексом северо-атлантического колебания.

Сравнение реконструированных высот снеговой линии и границы питания ледников северо-востока Сибири за 1930–1960 и 1961–1992 гг. (последний период характеризовался потеплением) указывает на зависимость этих

характеристик от глобальной и региональной циркуляции атмосферы. На основе непосредственных наблюдений и анализа космических и аэрофотоснимков дана оценка отступления ледников в горах Сунтар-Хаята (Якутия и Хабаровский край) и Боурдахского массива в системе гор Черского со времени малого ледникового периода и с 70-х годов прошлого столетия.

Неоднозначные процессы происходят на Кавказе. Ледник Джанкуат, например, за 1968–2002 гг. потерял около 5 м в слое воды. В то же время отмечается общее замедление темпов сокращения на ледниках Эльбруса за 1887–1997 гг., а также некоторая противозапасность современной динамики ледников на его разных склонах: на восточном они уменьшаются, на северном и западном увеличиваются. Выявленная интенсивность процессов массообмена свидетельствует об уменьшении степени континентальности климата Кавказа.

Ледники Алтая показали устойчивую деградацию с конца XIX в.; сохранение этой тенденции в ближайшие 10–20 лет приведет к распаду ледниковых комплексов на более простые морфологические структуры. После землетрясения на Алтае в сентябре–ноябре 2003 г. были представлены первые сведения об изменениях в состоянии ледников, а также водных объектов этой высокогорной зоны.

На ледниках Полярного Урала особенно интенсивная деградация, по геодезическим и фотограмметрическим наблюдениям, происходила до середины 1960-х годов, но и в настоящее время, судя по космическим снимкам, сокращение ледников продолжается.

В Средней Азии и Казахстане оледенение сокращалось настолько сильно, что уже к середине XXI в. сохранение выявленной тенденции может привести, например, к исчезновению ледников Южной Джунгарии.

Оценка стока рек Амударьи и Сырдарьи за 1932–1991 гг. и влияния на него динамики ледников дала при модельных расчетах сравнительно небольшое уменьшение водных ресурсов рек Средней Азии при любых сценариях глобальных изменений температуры воздуха.

Мониторинг карово-долинного ледника Де-лос-Трес на восточном склоне Патагонских Анд, в исследова-

ниях которого участвуют российские гляциологи, показал, что в 1963–1998 гг. он отступал на 3.1 м/год, а в 1998–2003 гг. — на 7 м/год.

Изменения происходят и в арктическом оледенении: сокращаются ледники северо-западной части о. Западный Шпицберген, ледник Шокальского на Новой Земле, ледниковый купол Академии Наук на Северной Земле. При анализе космических снимков (включая снимки 2001 г.) 90% всех ледников Шпицбергена отнесено к пульсирующим, однако в настоящее время большинство из них находится в спокойном состоянии.

В приатлантической части Восточной Антарктиды во второй половине XX в. наблюдается увеличение расходной составляющей баланса массы. На Антарктическом п-ове зафиксировано значительное потепление климата и, путем сравнения фототеодолитных съемок, — сокращение объема ледникового купола на о. Галиндез.

Уменьшается площадь морского ледяного покрова и его толщины в Северном полушарии. Причина — изменения глобальной циркуляции атмосферы. За последние десятилетия XX в. арктический антициклон сместился из района Северного полюса к берегам Чукотки, усилилась циклоническая деятельность в Европейском секторе Арктики и на полюсе.

Наблюдения за датами появления, образования и разрушения снежного покрова в арктических морях — Карском, Лаптевых, Восточно-Чукотском — показали, что за последние 30 лет проявляется тренд к более позднему образованию и разрушению снежного покрова.

В бассейнах рек Волги, Оби, Енисея и Лены, на Кавказе, в Предкавказье, на Тянь-Шане и архипелаге Шпицберген количество осадков в виде снега увеличивается, но в связи с потеплением климата его запасы уменьшаются.

Количество лавинных катастроф в различных горных системах мира не сокращается — роль деградации оледенения здесь значительна. Анализ данных о катастрофических селях (главным образом гляциальных) в бассейнах рек Баксан, Чегем и Черек (Кавказ) демонстрирует их связь с интенсивными ливнями, чередующимися с жаркой погодой. Сокращение оле-

денения Кавказа на 30% за 50 лет привело к увеличению площади мертвых льдов и моренных озер, а значит, — повышению селеопасности района. Стихийные гляциальные явления — прорывы приледниковых озер, подвижки ледников — нередки в последние годы (Колка на Кавказе, ледник Географического общества, активизировавшийся недавно на Памире).

Недавний изотопный анализ ледяных кернов из Гренландского ледникового щита позволил выделить за последние 8 тыс. лет до 20 периодов изменений температуры продолжительностью от нескольких десятков до нескольких сотен лет. Гораздо больший пласт времени охватывают исследования в Восточной Антарктиде: ледниковый керн из купола С — 740 тыс. лет<sup>1</sup>; 400 тыс. лет — керн, полученный на станции Восток по проекту «Комплексные исследования подледникового озера Восток». Бурение здесь глубиной скважины (приостановленное в 1998 г.) с отбором и изучением образцов льда подледникового озера до глубины 3700 м должно быть продолжено — к такому выводу пришли участники симпозиума.

Материалы гляциологических исследований. 2004. Вып.97. С.3—16 (Россия).

## Палеонтология

### Следы древнейшей жизни — в донной лаве?

В тех местах Мирового океана, где на дне когда-то извергался вулкан, образовалась так называемая подушечная, или пиллоу-лава (от англ. pillow — подушка). Она представляет собой скопление шаров диаметром 1–5 м, сложенных по краям стеклом, а в центре — кристаллической породой. Ранее такую лаву исследовали геофизики, геологи, вулканологи и петрологи, но недавно она привлекла внимание палеонтологов.

Специалисты во главе с геофизиком Х.Фурнес (H.Furnes; Бергенский университет, Норвегия) изучали у берегов Южной Африки базальты, габбро и другие породы, слагающие океаническое дно, в том числе и стекловатую корку, которая покрывает пиллоу-

<sup>1</sup> См.: Климат Земли за 740 тыс. лет // Природа. 2004. №11. С.83—84.

лаву. В лавах возрастом около 3.5 млрд лет были обнаружены микроскопические туннели (средний диаметр 4 мкм, длина до 50 мкм). По мнению Фурнеса и его коллег, эти ходы оставлены древнейшими микроорганизмами, поскольку очень похожи на те, что проложены гораздо более поздними обитателями морского дна. Если эта гипотеза подтвердится, можно будет считать, что жизнь на Земле воцарилась всего через несколько сотен миллионов лет после окончания мощной метеоритной бомбардировки, создавшей биологически стерильные условия на нашей планете.

С выводами группы Фурнеса согласны далеко не все специалисты. Так, американский микробиолог-геохимик Дж.Робертс (J.Roberts; Университет штата Канзас в Лоренсе) считает, что эти характерные пустоты могли возникать в стекловатых породах в результате абиотических химических реакций.

Science. 2004. V.304. №5670. P.503, 578 (США).

## Археология

### Кто и когда одомашнил кошку?

До сих пор считалось, что первыми кошку приручили древние египтяне примерно в XX–XIX вв. до н.э. Однако недавние находки позволяют предположить, что одомашнивание этих животных могло произойти на Кипре, причем намного раньше.

С момента своего возникновения Кипр отделен от ближайшего материка проливом шириной от 60 до 80 км. Никаких свидетельств, что на острове водились какие-либо кошачьи местного происхождения, нет. Таким образом, кошка — прирученная ли, дикая ли, — могла попасть на Кипр только вместе с людьми. Несколько лет назад в раннеолитическом поселении Хирокития (возраст около 9.5 тыс. лет) нашли кошачью нижнюю челюсть. Но какому животному — одомашненному или дикому — она принадлежала, оставалось неясным.

Французские антропологи и археологи во главе с Ж.-Д.Винем (J.-D.Vigne; Музей естественной истории в Париже) в течение многих лет вели раскоп-

ки близ пос.Шиллурокамбос (центральная часть Кипра). Выяснилось, что остров впервые был заселен примерно 10 тыс. лет назад людьми, прибывшими, скорее всего, из Малой Азии и уже умеющими возделывать зерновые. Исследователи находили множество костных остатков собак, крупного рогатого скота, коз, овец, свиней, а также лис и оленей. Кроме того, были обнаружены плечевая кость и три челюсти, принадлежащие кошкам, но эти находки были разрозненными и никак не связанными с человеком.

И вот недавно Винь с коллегами нашли абсолютно целый скелет кошки в человеческом погребении, относящемся к периоду 9200–9500 лет назад. Поскольку расстояние между захороненными останками человека и кошки было всего около 40 см, находились они на одной глубине и в одном слое осадочных пород, к тому же сохранность их была одинакова, исследователи предположили, что перед ними общая могила человека и животного. Рядом с человеческим скелетом лежали отполированные камни, комки охры, каменные топоры и другие орудия труда, а также 24 морские ракушки. Кости кошки не были расчленены, значит, в пищу ее не предназначали — очевидно, ей отводилась роль спутника человека в загробном мире. По заключению остеолога, возраст этого животного — лесной кошки (*Felis silvestris*) — был около 8 мес, оно было крупнее современных домашних кошек.

Вероятно, приручение кошки связано с переходом к земледелию: обильный урожай необходимо было убереечь от массовых нашествий грызунов. Кошку одомашнили спустя примерно 3 тыс. лет после собаки — почти тогда же, когда и овцу.

По мнению американского антрополога О.Бар-Йозефа (O.Bar-Josef; Гарвардский университет в Кембридже, штат Массачусетс), находка французских ученых показывает также, что в раннем неолите некоторых жителей Кипра хоронили с особыми почестями, а это — свидетельство расхождения древнейшего общества, появления в нем первых признаков выделения элиты.

Science. 2004. V.304. №5668. P.189, 259 (США).

# Эпоха глазами личности

Г.Е.Горелик,

кандидат физико-математических наук  
 Центр философии и истории науки  
 Бостонский университет (США)

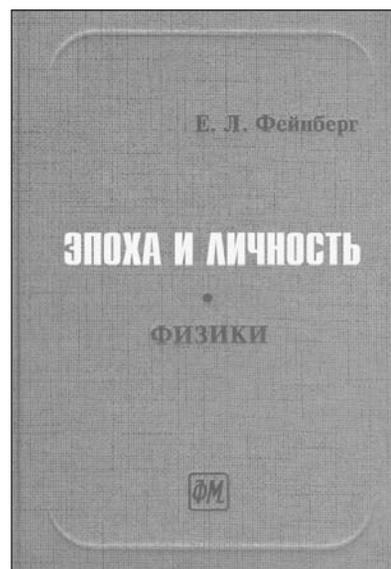
Российской физике необычайно повезло. Нет, я не о том историческом везении, благодаря которому своевременно подоспевшее термоядерное оружие спасло советскую физику от лысенкования. То — повезло физике самой. А истории этой науки повезло в том, что в академическом эпицентре термоядерных дел оказался физик, наделенный еще и особым даром — широтой, глубиной и человечностью взгляда на жизнь. И еще интеллектуальной честностью. И отвагой — совершенно необходимой для применения перечисленных качеств. И, наконец, литературным даром, способным превратить личный жизненный опыт в общественное достояние. Евгений Львович Фейнберг в своей книге представил в лицах эпоху, в которую его угораздило жить. Леонид Мандельштам, Игорь Тамм, Андрей Сахаров, Сергей Вавилов, Михаил Леонтович, Александр Минц, Нильс Бор, Вернер Гейзенберг, Лев Ландау. Девять замечательных физиков, лично знакомых автору книги. Девять судеб, в драматизме которых отразилась эпоха.

Для названия этой эпохи применимы два очень разных имени — «советская» и «науч-

ная». Первое — по хронологическому совпадению, второе — по новой глобальной силе, проявлением которой отмечена эпоха. Связь двух имен в глобальном контексте была очевидна только хорошо подкованным советским идеологам. Но в контексте книги Фейнберга эта связь несомненна и фундаментальна.

Советская эпоха подняла российскую физику больше, чем какую-либо другую науку. Заслуги делят мировая физика, советская власть и отдельные люди науки. Похоже, что преобладали силы мировой истории науки, выбравшей XX в. для социального взрыва физико-технических наук, — ведь подъем американской физики за ту же эпоху еще внушительнее. Советскую власть тоже есть за что благодарить — за то, например, что она затоптала не все здоровые всходы на научной ниве.

Однако обе безличные силы — общемировая и отечественная — действовали только посредством усилий личностей, и личности, о которых рассказывает автор, определяли ход развития науки очень разными способами — чисто научным, организаторским, педагогическим и моральным. Девять личностей соединены в одной книге по совершенно субъективным основаниям — со всеми ав-

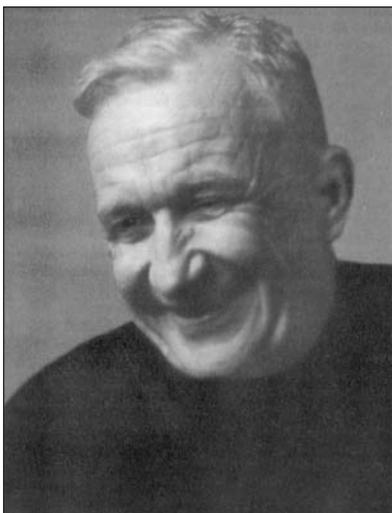


**Е.Л.Фейнберг.** ЭПОХА И ЛИЧНОСТЬ. ФИЗИКИ. Очерки и воспоминания. 2-е изд.

М.: Физматлит, 2003. 416 с.



Л.И.Мандельштам (1879—1944).



И.Е.Тамм (1895—1971).



А.Д.Сахаров (1921—1989).

тор был лично знаком и к ним явно неравнодушен. Такая субъективность — залог наибольшей возможной объективности, аналогично тому, что лишь глубокое неравнодушие к науке обещает новое знание.

Портреты-судьбы своих героев Фейнберг рисует, наученный философским опытом физики XX в., согласно которому объективность достижима только посредством явного учета субъективности наблюдателя: надо помнить о системе отсчета, или, обобщенно, о средствах наблюдения. Этому научили физиков теория относительности и квантовая теория. У автора и система отсчета, и средства наблюдения исключительно хороши. И результат его наблюдений — не «приговор истории» для принятия к сведению, а возможность приобщиться к везению автора — узнать личности девяти замечательных физиков.

Личность, живущая в драматическую эпоху, всегда выглядит противоречиво, опираясь на столь разнородные опоры, как разум и совесть. Автор высказывается вполне определенно, но при этом воссоздает и живую неопределенность человеческой жизни. Он с подкупающей честностью пишет о противоречиях в судьбах своих героев. И ясно указывает, когда и как с его взглядом расходились другие уважаемые им очевидцы. В результате читатель просто вынужден выработать собственное суждение, а это и есть настоящее личное знакомство.

Лучшая рецензия на способность Фейнберга к человековедению принадлежит одному из героев его книги — Андрею Сахарову. В своих «Воспоминаниях», рассказывая о любимом учителе И.Е.Тамме, Сахаров процитировал «прекрасные воспоминания» их «общего друга» — Фейнберга, поскольку «полностью с ним согласен», и, в частности, с тем, что «лучшие черты российской интеллигенции стали лучшими чертами Тамма, ее недостатки — и его слабостями».

Способность любить с открытыми глазами — чудесный дар, и он замечательно проявился в рассказе о Сахарове. Их знакомство началось с того, что очень милый молодой человек поступил в аспирантуру ФИАНа, а Фейнберг — уже доктор наук — принимал у него экзамен. А 20 лет спустя очень нелегко было, как признается Евгений Львович, осознать масштаб личности в хорошо знакомом ему человеке. Сахаров дорожил их дружбой — так же как и Фейнберг. Тем сильнее действует рассказ о самом тяжелом моменте в их отношениях, когда Сахаров написал Фейнбергу: «Принятое Вами решение фактически поставило нас — или могло поставить — на грань гибели, — и Вы не могли этого не понимать. Я, вероятно, никогда уже (или очень долго) не смогу избавиться от возникшего у меня чувства разочарования и горечи».

Евгений Львович объясняет психологический, а не «юридический», контекст этой фразы. А у меня в памяти всплывает картинка: незадолго до того, как Сахарова выслали в Горький, на семинаре в ФИАНе — в перерыве или перед началом — в коридоре прохаживаются вдвоем Сахаров и Фейнберг. Они разговаривают о чем-то, и Евгений Львович при этом как-то приобнял Андрея Дмитриевича. По всем понятиям в этом должно было быть нечто демонстративное — в поддержке ли отъявленного диссидента, в смелости ли. Я не видел ничего демонстративного. Все очень просто — взаимное доверие, взаимный интерес и какая-то сдержанная нежность.

Эта особенность авторского стиля — нежность чувств при полном отсутствии сентиментальности — проявляется во всех очерках. И все его герои заслуживают и могут себе позволить честную несентиментальность. Особенно, быть может, Леонид Исаакович Мандельштам — «Родоначалник», как назван очерк о нем. Школа

Мандельштама, к которой принадлежит автор книги и половина его героев, — особое явление в российской физике по своей органической связи — увы, априорно несвязанных — науки и нравственности. В этом больше других виновен родоначальник школы, и за это он поплатился неправдоподобным почитанием «учеников». «Мудрый праведник», — подобные слова в стране, хорошо знакомой с «культом личности», трудно принять за чистую монету. И автор, рассказывая о коллизиях научной молодости Мандельштама, показал, что родоначальник был сделан из земного материала, хоть и высшей человеческой пробы. Одновременно самой своей авторской позицией Фейнберг наглядно реализовал главное научно-нравственное качество школы Мандельштама.

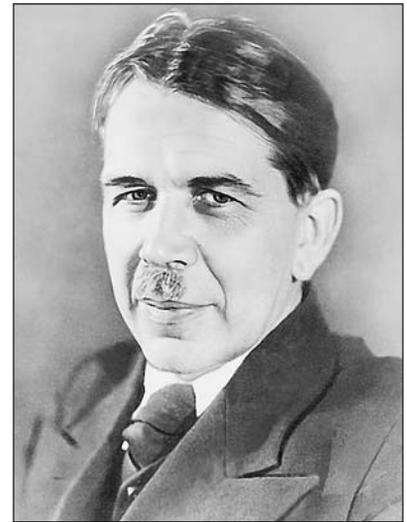
Быть может, поэтому, читая книгу, испытываешь равное удовольствие и от общего согласия с позицией автора, и от несогласия в интерпретациях каких-то фактов. Ведь готовность к согласию и способность к несогласию — в фундаменте психологии научной жизни. Автор самым тоном своего рассказа облегчает несогласие с ним, работа его ищущей мысли побуждает и мысль читателя.

К примеру, сохранилась рукопись Мандельштама, посвященная философии научного знания. Фейнберг трактует это как некое подведение философских итогов, поскольку рукопись написана в последние годы жизни, во время эвакуации в Боровом. Мне же кажется более вероятным иное назначение этой рукописи: лишенный привычной и необходимой ему среды — учеников, бурлящих идеями и вопросами, — Мандельштам, утоляя свою педагогическую потребность, готовил лекцию по теории познания для студентов-физиков. Самую первую лекцию. Уж слишком простые примеры он берет — антиподы, ходящие «вниз головой»,

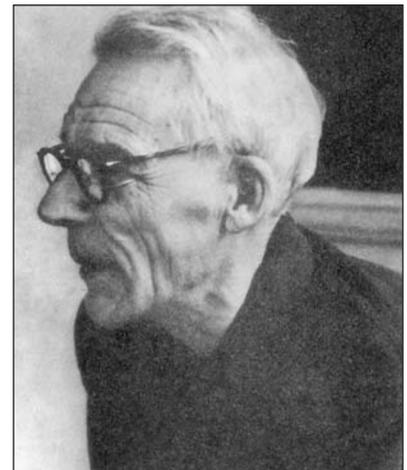
и перевернутое изображение на сетчатке глаза. А ведь ему был интересен и экзистенциализм Яспера и изощренный позитивизм Мизеса. Он видел, какой философской жидкостью промывали мозги молодых физиков. Одного из потенциальных слушателей он мог видеть в В.Л.Гинзбурге, который озаглавил свои воспоминания о Мандельштаме «Один совет Леонида Исааковича Мандельштама», и этот совет был — отложить занятия философией.

Другую возможность несогласия дает очерк о самом уязвимом герое — Вернере Гейзенберге. Речь идет о поведении великого физика при гитлеровском режиме. Гейзенбергу необычайно повезло с адвокатами. Среди них Эдвард Теллер и Е.Л.Фейнберг. Из общих соображений оба должны были бы стать обвинителями — из-за их неарийского происхождения и из-за их патриотизма по отношению к главным державам антигитлеровских Объединенных Наций. Адвокатами обоих сделали не общие соображения, а личное знание. Личное знание Гейзенберга, с которым в своей научной юности работал Теллер, и личное знание тоталитаризма, полученное Фейнбергом без отрыва от жизни. Опыт жизни в советском обществе незаменим для понимания условий жизни в нацистском государстве, и такого опыта катастрофически не хватает многим западным обвинителям Гейзенберга. Фейнберг, излагая аргументы обвинителей и страстно им возражая, не просто делится своим опытом, а воссоздает объемность человеческой жизни, которой приходится вписываться в те времена, которые не выбирают, а в которые живут и умирают.

Выслушав речи таких замечательных адвокатов, я — признаюсь — не чувствую себя полностью убежденным. Кроме параллелей между сталинизмом и гитлеризмом вижу также и явные перпендикуляры. К приме-



С.И.Вавилов (1891–1951).

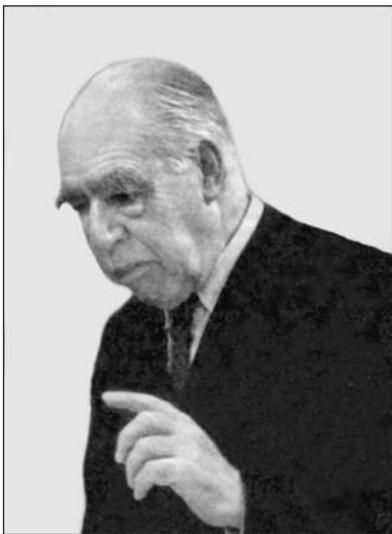


М.А.Леонтович (1903–1981).



А.Л.Минц (1905–1974).

Рассказы



Н. Бор (1885—1962).



В. Гейзенберг (1901—1976).



Л. Д. Ландау (1908—1968).

Рецензии

ру, в официальных текстах сталинской поры было много хороших слов, а плохие были сильно замаскированы. А гитлеризм официально провозгласил нюрнбергские законы «о защите немецкой крови и немецкой чести», от знания которых невозможно было спрятаться. И тем не менее, если бы меня выбрали в присяжные по делу Гейзенберга, я бы воздержался от обвинительного вердикта. Потому что доверяю личному опыту Фейнберга и Теллера не меньше, чем своим книжным знаниям и общим соображениям. И с благодарностью присваиваю личный жизненный опыт этих защитников, надеясь приобрести более глубокий взгляд на человеческую природу истории науки.

Герои книги Фейнберга — очень разные люди, и автор вы-

бирает совершенно разные формы рассказа о них — подчиняясь лишь своему чувству, умудренному их уникальными судьбами. Могу позавидовать тому, кто впервые прочтет полномасштабные рассказы о трагедии Сергея Вавилова, о загадке личности Льва Ландау, и более этюдного характера портреты Михаила Леонтовича, Александра Минца и Нильса Бора, — в самых кратких зарисовках автора всегда схвачена жизнь.

Чего, на мой взгляд, не хватает в книге, — это автобиографического очерка. Конечно, и в рассказах о других просвечивает личность автора. Но поскольку мне повезло не раз беседовать с Евгением Львовичем Фейнбергом о науке и жизни, я догадываюсь, каким важным дополнением стал бы автобиографический очерк. Особенно интересно бы-

ло бы узнать о философской составляющей биографии автора. Хотя в советское время прагматически-ритуальные философские формулы нередко встречались в сочинениях видных физиков, подлинно философский взгляд был присущ очень немногим. Среди этих немногих (по моим подсчетам, не более трех-четырех) Фейнберга отличает наиболее оригинальный философский взгляд. В книге этот взгляд неявно присутствует. Но как физик-теоретик, не уходя от физики, пришел к философии и к анализу соотношения логики и интуиции, остается пока неразгаданным.

Впрочем, даже и без этого рассказа книга Е.Л.Фейнберга — событие в истории российской науки, и, уверен, она станет событием для каждого ее нового читателя. ■

## Астрофизика

**К. Саган.** КОСМОС: Эволюция Вселенной, жизни и цивилизации. Пер. с англ. А.Сергеева. СПб.: Амфора, 2004. 525 с.

На Марсе, в точке с координатами 19°20'с.ш. и 33°33'з.д., занесенный песком, стоит небольшой самоходный аппарат. А неподалеку от него установлен памятник человеку, написавшему эту книгу. Это мемориальная станция имени знаменитого американского астрофизика и популяризатора науки Карла Сагана. В июле 1997 г. она доставила сюда самоходный ровер «Пасфайндер», а затем почти три месяца передавала на Землю изображения с его видеокамеры. В реальности путешествие по поверхности Красной планеты оказалось намного скромнее плана, который задумал Саган, однако уровень общественного интереса к этой миссии был угадан им верно. В то лето репортажи с Марса были непрерывной составляющей вечерних теленовостей. Вот только сам Саган не дождался реализации своей идеи.

В его книге рассказывается об эволюции космоса, формировании галактик, зарождении жизни и разума. Автор проследит пути познания Вселенной — от прозрений древних мыслителей через открытия И.Кеплера, И.Ньютона и А.Эйнштейна к современным космическим миссиям.

Телесериал «Космос» и эта книга принесли Сагану всемирную известность. Работе над ними он посвятил более трех лет — с 1976 по 1980 г. Такие темы как происхождение и эволюция жизни, строение Солнечной системы, поиск внеземных цивилизаций остаются вполне актуальными. Однако некоторые, например космоло-

гия и геополитика, получили такое развитие, что здесь книга становится скорее важным и интересным документом своей эпохи.

## Биология

**Н.Н.Воронцов.** ЭВОЛЮЦИЯ. ВИДООБРАЗОВАНИЕ. СИСТЕМА ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА / Отв. ред. Е.А.Ляпунова. М.: Наука, 2004. 362 с. (Из сер. «Избранные труды».)

Значительная часть научного наследия крупного отечественного биолога Н.Н.Воронцова (1934—2000) уже хорошо известна читателям, интересующимся вопросами эволюции органического мира. Однако немало ценных идей и обобщений опубликовано в специальных или малодоступных изданиях, поиск которых зачастую затруднен. Составитель этой книги поставил задачу объединить разрозненные публикации, тематика которых весьма разнообразна и отражает не только научные интересы автора, но и его гражданскую позицию.

В первый, самый обширный раздел вошли 17 больших статей, опубликованных с 1958 по 1989 г. Это работы, посвященные системе органического мира, различным аспектам эволюции (синтетическая теория, адаптивность и нейтализм, макро- и микроэволюция), проблемам вида и видообразования. Небольшая глава коротко касается экспедиционной работы автора. В третьем разделе собраны выступления и письма Воронцова, свидетельствующие о его высокой гражданственности и активном участии в укреплении позиции отечественной биологии и в охране природы. В конце книги помещены воспоминания современ-

ников, часть из которых публикуется впервые. Книга прекрасно иллюстрирована: помимо рисунков, сопровождающих специальные статьи, множество замечательных фотографий из архива Воронцова.

## Обществоведение

**РАЗУМ ИЛИ ВЕРА? РЕАЛЬНОСТЬ ИЛИ ВЫМЫСЕЛ?** Сост. А.М.Крайнев и Н.Л.Васильева. М.: Рос. гуманист. о-во, 2004. 176 с. (Б-ка журн. «Здравый смысл»)

Отечественная наука переживает, к сожалению, не лучшие времена. На нее наступают, с одной стороны, клерикальные силы, а с другой — средневековое шарлатанство и мракобесие, подчас облеченные в наукообразную форму и изобилующие замысловатой терминологией. (И те, и другие имеют доступ к средствам массовой информации.) Полки книжных магазинов завалены литературой по креационизму, «торсионным» и «лептонным» полям, эзотерике, магии, колдовству. Узнать же о взглядах настоящих ученых на подобные проблемы почти невозможно.

В июле 2002 г. был создан Интернет-сайт «Разум или вера? Реальность или вымысел?» (<http://www.atheismru.narod.ru>), на котором систематически появляются материалы, проливающие свет на подлинное содержание некоторых около- и псевдонаучных теорий, мистических учений. Сегодня на сайте размещено свыше 100 публикаций, не считая кратких сообщений. Авторский указатель содержит более 90 фамилий.

Поскольку ознакомиться с электронной версией могут только люди, имеющие доступ к Интернету, небольшая инициативная группа решила своими силами издать сборник материалов, опубликованных на сайте, — тех, которые, увы, еще долго не утратят своей актуальности.

# Возвращение зубров в Россию

Л.М.Баскин,

доктор биологических наук

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

Михаил Александрович Заблоцкий посвятил свою жизнь восстановлению зубра в России. Зоотехник-зверовод по специальности, в 1946 г. он был назначен старшим научным сотрудником Главного управления по заповедникам для руководства работами по восстановлению зубра в СССР. Участвовал в создании зубровых питомников в Крымском заповеднике (1937 г.) и Беловежской пушце. Им была основана и велась государственная племенная книга зубров.

У Михаила Александровича был «трудный» характер, он был слишком принципиальным, требовательным к себе и другим, бесстрашно защищал дело, которому служил, и совершенно не думал о своем личном благополучии. Грустно сказать, что умирал Заблоцкий, отставленный от любимого дела, в ветхой избушке на краю Приокско-Террасного заповедника, в крайней бедности.

Но зубр восстановлен, зубр вернулся в Россию.

\*\*\*

— Садитесь, капитан, — сказал маршал Н.Н.Воронов.

Обращение маршала на «вы» к фронтовому офицеру было необычно, по крайней мере, Заблоцкого это резануло. Он сразу же почувствовал, что предстоит крутой поворот судьбы. Впрочем, начальнику штаба артиллерийского дивизиона сам вызов к представителю Ставки Верховного Главнокомандования уже говорил о необычном задании.

По воспоминаниям М.А.Заблоцкого, записанным с его разрешения в 1981 году

© Баскин Л.М., 2005

— Вы работали до войны с зубрами, — продолжал маршал, разсыпав на столе нужные бумаги. Вот пишут из высоких инстанций, тут и Московский университет, и охотничье начальство, и Министерство иностранных дел, что вы тот человек, кто может оценить положение с зубрами в Беловежской пушце. Поезжайте. Всем, чем нужно, мои штабные работники вам помогут. Где вы работали?

— В Аскания-Нова, потом в Кавказском заповеднике. Был призван в тот день, когда из Москвы привезли партию зубров, точнее сказать, гибридов. Чистых-то зубров у нас нет, Николай Николаевич.

Заблоцкий впервые назвал маршала не по уставу, но это уже было как должное между ними. Впоследствии Воронов не раз помогал, когда строили зубровый питомник и нужны были материалы, корм для животных.

\*\*\*

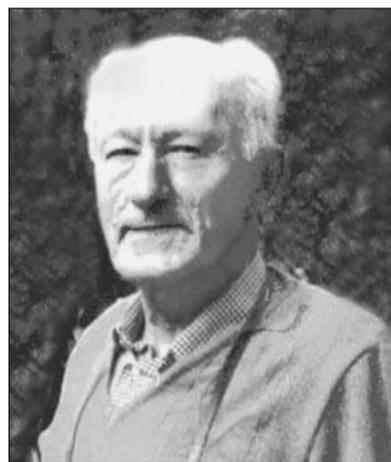
Заблоцкий приехал в Беловежскую пушчу. Семь лет назад письмо отсюда, из Польши, в Асканию-Нова вызвало страх. Только что арестовали директора Нуринова. Профессор А.А.Браунер, оставшийся в Аскании-Нова за директора, отдал письмо Заблоцкому.

— Ответьте им не от имени Аскании, а как частное лицо.

Переписка с «заграницей» тогда была запрещена, так что задание было рискованным, но Заблоцкий не побоялся, написал.

Было еще одно письмо из Польши. Прислали список польских зубров с полными родословными. Сейчас бы оно так пригодилось.

Из людей, связанных с зубрами, Заблоцкий нашел лишь ветврача Демьяшкевича. Главный местный



М.А.Заблоцкий (1912–1996).

авторитет, профессор В.В.Нагурский жил в Белостоке. Как рассказывал Демьяшкевич, немецкий комендант вызвал Нагурского, спросил, возьмется ли он лечить лошадей кавалерийского полка от чешотки. Нагурский отказался, и немцы его выселили. Пушчу они держали под особым контролем.

А Демьяшкевич согласился лечить. Всю войну оставался на месте, по возможности следил за зубрами.

\*\*\*

Кабинет профессора В.Г.Гептнера в Зоологическом музее сохранил облик дореволюционного времени: шкафы красного дерева, глубокие кожаные кресла, огромный стол, крытый опрощенным в дубовую раму зеленым сукном, старинный письменный прибор, бронзовые фигуры животных — работы лучших мастеров. Обстановка вполне соответствовала парадным портретам великих ученых — П.С.Палласа, А.Ф.Миддендорфа, Г.В.Стеллера, Д.Г.Мессершмидта. Хо-

зьяин — Владимир Георгиевич Гептнер — сам был из «русских немцев», уже много поколений живших в России, но сохранивших не только фамилию, но и немислимую память, энциклопедичность, фантастическую работоспособность. И еще было в Гептнере то, что В.И.Цалкин, известный зоолог, называл «смешным генеральством». Владимир Георгиевич всегда выглядел солиднее окружающих. Сидя напротив него в кресле за чашкой чая, Заблоцкий тоже ощутил это.

— Если подумать шире, с позиций сохранения зубра как вида, — говорил Гептнер, — это беда, что его ареал уже много лет находится на границе двух государств. Исторически, наверно, вполне закономерно, что болотистое Полесье и его окраина, Беловежская Пуца, определили границы расселения двух народов, я имею в виду русских и поляков, хотя надо бы еще говорить и о литовцах, все же это «литовский зубр», как его называют в старых книгах. И на границе, на стыке ареалов народов, нашлось убежище для крупнейших диких животных. Но в XX в. зубры дважды, во время обеих мировых войн, были на грани исчезновения. Через эти места прошла война, и можно лишь благодарить Бога или судьбу, не знаю, как теперь лучше говорить, что они уцелели. Сейчас в Польше сохранилось 17 зубров, восемь быков и девять самок.

— Еще три есть в Плессе, Владимир Георгиевич, я вам говорил.

— Да, всего 20, если не считать тех, что в зоопарках, да еще гибридные животные на Кавказе. Мы начинаем новый этап восстановления зубра, и надо бы это сделать поумней, чем раньше. В.Н.Макаров, вероятно, вам говорил о моей идее?

Заблоцкий уже читал записку Гептнера к Макарову, в Главное управление охотничьего хозяйства и заповедников, и имел свое мнение. Но профессор предпочитал изложить все сам.

— Я предложил создать где-то в России, вероятно, лучшее место — под Серпуховым, где у нас часть Московского заповедника, Центральный зубровый питомник. Там надо заняться размножением

зубров, с соблюдением правил ведения линий, с хорошей родословной книгой. Если появятся излишки поголовья, так же разумно, расчетливо расселять животных по России, Украине, Белоруссии, Литве.

\*\*\*

За полчаса до назначенного Макаровым времени Заблоцкий явился в Министерство иностранных дел. Внутри, за роскошными, обитыми медными бляхами дверями, его встретил охранник, проверил по списку, ждут ли, пропустил в холл. Все здесь было примерно так, как ожидал Михаил Александрович: темное резное дерево, зеркала, картины, ковры. Василий Никитич Макаров, начальник управления заповедников и охраны природы, уже был здесь. Поздоровавшись, он прежде всего озабочился военной формой Заблоцкого, который, как артиллерист, носил саблю. Но времени что-нибудь менять уже не было.

Открыли двери зала, где предстояло заседать. Макаров, заместитель министра лесного хозяйства Н.П.Рухлядев, Заблоцкий от России и Осадчий — от Белоруссии сели вместе, там, где им показал сотрудник МИДа. Через мгновение он уже усадил по другую сторону Берута, Осубко-Моравского и других поляков, которых Макаров не знал. Сидели молча, переглядывались, улыбались. Вошел В.М.Молотов, перед ним положили папку с бумагами, и он тотчас начал.

— Польское правительство обратилось к советскому с просьбой передать ему 5 тыс. га Беловежского парка народного (Молотов прочитал эту строчку в польском письме, лежавшем перед ним). Советское правительство, обсудив просьбу, решило передать 50 тыс. га.

— Вот тебе и раз, — прошептал Макаров.

— Вы против, товарищ Макаров? — повернулся к нему Молотов.

— А как же зубры? — дрогнувшим голосом объяснил свой шепот Макаров.

— Зубры — это часть Пуцы. Они останутся в Польше — сказал Берут.

— Сколько там зубров? — вдруг засомневался Молотов.

— Вот, товарищ Заблоцкий только что вернулся из Беловежской Пуцы, где обследовал зубров, — Макаров хотел привлечь к обсуждению своих людей.

— Сколько же? — повторил Молотов, теперь обращаясь к Заблоцкому. Его взгляд задержался на погонах, и Макаров пояснил: капитан, как крупный специалист по зубрам, только что отозван из армии.

— В Беловежской Пуце сейчас 17 зубров.

— Давайте пополам, — предложил Молотов.

— Зубры — это национальная гордость Польши, — сказал Осубко-Моравский. — Животные должны жить вместе, плодиться, за чем их делить.

— Белорусская часть Беловежской Пуцы тоже должна быть населена зубрами, — сказал Осадчий.

— Мы не можем согласиться на раздел зубрового стада. Наши специалисты считают это вредным для восстановления животных, — подтвердил Берут.

— Мы отвоевали Верхнюю Силезию, где фон Плесс\* — курфюрст также разводил зубров. Сейчас, как говорят, там уцелело три зубра, — сказал Заблоцкий.

Молотов посмотрел в сторону группы советских специалистов и заключил:

— По зубрам давайте договариваться особо.

Берут тотчас подхватил эту идею.

— Будет правильно провести конференцию специалистов и сделать это в Польше, может быть, найдется лучший выход.

На этом и порешили, после чего всех пригласили на ужин.

\*\*\*

В том же 1944 г. состоялась конференция по зубру. В Варшаву поехали Заблоцкий, Осадчий и представитель от советского МИДа. Из окон поезда Заблоцкий видел места, по которым не так давно прошел со своим артиллерийским дивизионом. Польша показала ему мало пострадавшей по сравнению с Белоруссией. Это \* «Плесские» зубры — так называли группу зубров, содержавшихся в имении фон Плесса.

впечатление укрепилось, когда их высадили, не доезжая Варшавы, и на советском армейском виллисе повезли в Лазенки. Встречал их на вокзале и сопровождал в машине Ян Жабинский, тогда директор Варшавского зоопарка, а по совместительству, с еще довоенных лет, председатель польского отдела Международного общества сохранения зубра.

С первых же минут встречи Жабинский напомнил:

— Мы с вами уже знакомы по переписке в тридцать седьмом году.

Странно было встретить того самого «заграничного» Жабинского, написавшего в 37-м письмо в Асканию-Нова, опасное уже тем, что в нем упоминались фамилии Браунер и Заблоцкий. За переписку с иностранцами тогда арестовывали и ссылали в лагеря. Реальный Жабинский держался суетливо и несмело.

В Лазенках делегацию провели в круглую гостиную, стеклянные двери которой выходили в парк. Встречали сразу два польских министра: иностранных дел — Модзолеевский и лесного хозяйства — Ткачев. Жирный, усатый Ткачев, едва познакомились,

предложил прогуляться по парку. «Пока дичь для обеда жарят», — пошутил он.

Как-то сразу разделились на две компании — «дипломатов» и «охотников». Ткачев, не глядя по сторонам, уверенно выступал впереди. Заблоцкий пристроился было справа от него, но Жабинский осторожно потянул назад на левую сторону. Уже за обедом, когда хорошо выпили, он пояснил Заблоцкому, что уважаемых людей надо вести справа от себя.

— Так что ж вы хотите? — тонким голосом спрашивал Ткачев. — Наше правительство ведь сказала свое «нет».

— Будет правильно поделить Беловежское стадо примерно пополам. Кроме того, мы хотим получить двух плесских зубров — быка и корову, — сказал Осадчий.

— Я дам вам старого быка из Пущи, и этого будет достаточно, — сказал Ткачев.

— Зубры важны не для показа в зоопарке, а для разведения. Нам нужны племенные животные, причем несколько пар, — сказал Заблоцкий.

— Я дам вам еще одну старую корову, — сказал Ткачев.

— Нам нужны следующие животные, — сказал Заблоцкий. — «Пуф», «Пуля», еще два-три молодых зубра, может быть, «Пурпура» и «Пугинал».

Ткачев повернулся к Жабинскому.

— Разве я не сказал уже, что дадим?

— Так есть, пан министр, — подтвердил Жабинский.

Ни о чем не договорившись, пошли обедать. Затем снова ходили по дорожкам. Потом заседали до позднего вечера. Упорная торговля продолжалась.

Уезжали, выторговав пять зубров — трех быков и две коровы.

В 1946 г., когда состоялась перевозка этих зубров в белорусскую часть Беловежской Пущи, у поляков уже за счет приплода поголовье выросло до 20 голов. Чтобы застраховаться от случайностей, например, гибели от болезни, часть зубров перевезли в питомник в Неполомице.

В СССР также было создано несколько питомников, и главный из них, построенный в 100 км на юг от Москвы в Приокско-Террасном заповеднике, возглавил Заблоцкий. ■

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

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  
**С.В.ЧУДОВ**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры:  
**В.А.ЕРМОЛАЕВА**  
**Е.А.ПИМЕНОВА**

Графика, верстка:  
**Д.А.БРАГИН**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредитель:  
Российская академия наук,  
президиум  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Маролевский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 18.01.2005  
Формат 60×88 1/8  
Бумага типографская №1,  
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отг. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 9065  
Набрано и сверстано в редакции

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