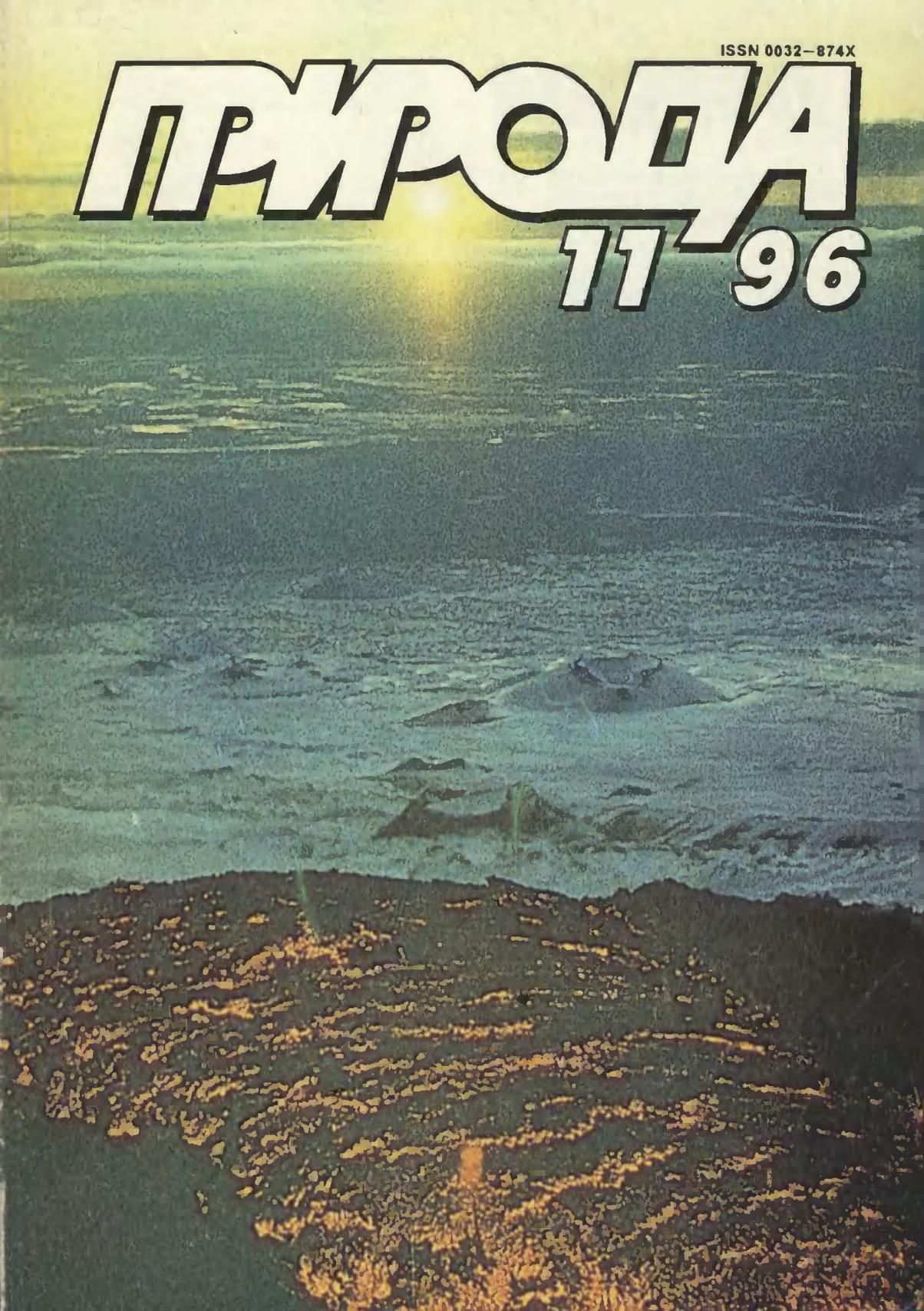


ISSN 0032-874X

# ПРИРОДА

11 96



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Извержение вулкана Толбачик. 1986 г.  
См. в номере: **Бялко А.В.** Камчатка: мощь недра, коварство океана, усилия науки.

Фото А.В.Сторчеуса

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Склоны Авачинского вулкана. См. в номере: **Фролов А. А.** Вулканогенные структуры и руды.



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук  
журнал «Природа» 1996

## В НОМЕРЕ

**3 Бялко А.В.**  
КАМЧАТКА: МОЩЬ НЕДР, КОВАРСТВО ОКЕАНА, УСИЛИЯ НАУКИ

**9 Фролов А.А.**  
ВУЛКАНОГЕННЫЕ СТРУКТУРЫ И РУДЫ

*Вулканические процессы — грандиозные природные события. С ними связаны невероятные бедствия и вместе с тем полезная созидательная работа. Вулканогенные структуры благоприятны для формирования месторождений руд различных генетических типов.*

**21 Матвеев А.В.**  
ПУТЕШЕСТВИЕ В ДРЕВНИЙ МИР ИНГАЛЬСКОЙ ДОЛИНЫ

*В центре необъятной Тюменской области, в междуречье Тобола и Исети, обнаружены сотни прекрасно сохранившихся археологических памятников каменного, бронзового и железного веков.*

**33 Стыркас А.Д.**  
РАЗГАДКА «ОЛОВЯННОЙ ЧУМЫ»

*С оловом — одним из самых древних металлов, известных человеку, — связано много курьезных и трагичных страниц истории. Последние исследования позволяют понять природу его уникальных свойств.*

**49 Голубев В.И.**  
ДРОЖЖИ-УБИЙЦЫ

**54 Баранов В.С.**  
ПРЕНАТАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Уменьшать "генетический груз" рода человеческого, все более и более отягощаемого врожденными наследственными пороками, — такова благородная задача нового научно-прикладного направления медицинской генетики.*

**62 Аглонов С.В.**  
«БАЗАЛЬТОВЫЕ ОКНА» КОНТИНЕНТОВ

*В теле современных континентов зияют бреши — участки древней океанской литосферы. Они маркируют швы, вдоль которых когда-то закрылись обширные океаны, а позднее образовались мощные осадочные бассейны.*

**72 Комар А.А.**  
ПРОЕКТ AMANDA

**73 Бергстром Л., Рубинштейн Г.**  
AMANDA НА ЮЖНОМ ПОЛЮСЕ: АНТАРКТИЧЕСКИЕ НЕЙТРИНО

**77 ДРЕВНИЕ ПЛЕМЕНА И НАРОДНОСТИ**  
**Худяков Ю.С.**  
КЫРГЫЗЫ

**86 Киселев Ю.М.**  
НЕОБЫЧНЫЕ ВАЛЕНТНЫЕ ФОРМЫ

*К настоящему времени удалось получить разнообразные соединения, в которых одни элементы проявляют аномально высокую, другие — необычайно низкую валентность. Теоретический или эмпирический анализ таких соединений обычно затрагивает глубинные проблемы теории химического строения, а применение на практике обеспечивает технологический прогресс.*

**96 Несис К.Н.**  
ГОРНЫЙ КРАБ ГНЕЗДИТСЯ В РАКОВИНЕ УЛИТКИ

**98 Васильев В.Ю.**  
ЗНАТЬ — ЗНАЧИТ ИЗМЕРИТЬ

**101 ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ**  
**Козик С.С.**  
СОХРАНИЛСЯ ЛИ В ПРИРОДЕ ТУРКЕСТАНСКИЙ УГЛОЗУБ

**103 НОВОСТИ НАУКИ**

КОРОТКО (71, 102)

**124 РЕЦЕНЗИИ**  
**Гершензон С.М.**  
ОТ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ГЕНЕТИКИ К ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ

**126 РЕЗОНАНС**  
**Белик В.П., Тараненко Л.И.**  
ШТРИХИ ИСТОРИИ «ЛЕСНОГО ОТШЕЛЬНИКА»

## CONTENTS

- 3 Byalko A.V.**  
KAMCHATKA: POWERFUL INTERIORS, INSIDIOUS OCEAN, AND STRIVING SCIENCE

- 9 Frolov A.A.**  
VOLCANOGENIC STRUCTURES AND ORES

*Volcanic processes are natural events of an enormous scale. They lead to untold disasters, yet they can also play a beneficial role. Volcanogenic structures are favorable for the formation of various types of ores.*

- 21 Matveev A.V.**  
A JOURNEY INTO THE ANCIENT WORLD OF THE INGALY VALLEY

*Hundreds of excellently preserved archaeological artifacts from the Stone, Bronze, and Iron ages have been discovered between the Tobol and Iset' rivers, just in the centre of the vast Tyumen region.*

- 33 Styrkas A.D.**  
UNRAVELING THE MYSTERY OF "TIN PLAGUE"

*Tin — one of the oldest metals known to man — has figured in many historic incidents, both funny and tragic. Recent investigations reveal the origin of its unique properties.*

- 49 Golubev V.I.**  
"KILLER YEASTS"

- 54 Baranov V.S.**  
PRENATAL DIAGNOSTICS: REALITY AND PROSPECTS

*To reduce the "genetic load" of the human race, which becomes increasingly burdened by congenital hereditary diseases — such is the noble task of this new applied aspect of medical genetics.*

- 62 Aplonov S.V.**  
BASALTIC WINDOWS OF CONTINENTS

*The present-day continents contain gaps — areas of ancient oceanic lithosphere. These gaps mark the sutures along which vast paleoceans closed and thick sedimentary basins formed.*

- 72 Komar A.A.**  
AMANDA PROJECT

- 73 Bergstrom L. and Rubinstein G.**  
AMANDA AT THE SOUTH POLE: ANTARCTIC NEUTRINOS

- 77 ANCIENT TRIBES AND PEOPLES**  
**Khudyakov Yu.S.**  
THE KIRGHIZ

- 86 Kisllev Yu.M.**  
UNUSUAL OXIDATION STATES

*Various compounds have been obtained in which some elements show anomalously high oxidation states and others display unusually low ones. Theoretical or empirical analysis of such compounds commonly deals with fundamental aspects of chemical structure, while their practical application leads to technological advances.*

- 96 Neels K.N.**  
MOUNTAIN CRAB THAT NESTS IN A SNAIL'S SHELL

- 98 Vasiliev V.Yu.**  
TO KNOW IS TO MEASURE

- 101 NOTES, OBSERVATIONS**  
**Kozik S.S.**  
HAS THE HYNوبيUS TURKESTANICUS SURVIVED IN NATURE?

- 103 SCIENCE NEWS**  
IN BRIEF (71, 102)

- 124 BOOK REVIEWS**  
**Gershenson S.M.**  
FROM POPULATION GENETICS TO THE GENERAL THEORY OF EVOLUTION

- 126 RESPONSE**  
**Bellik V.P. and Taranenko L.I.**  
ADDITIONS TO THE HISTORY OF THE "HERMIT OF THE WOODS"

---

*Река Быстрая после пересечения Среднего хребта Камчатки. Вверх по этой реке зимой 1728 г. Витус Беринг переправил из Охотского моря к Тихому океану корабельный такелаж своей экспедиции.*

*Фото автора*

# Камчатка: мощь недр, коварство океана, усилия науки

А.В.Бялко,

доктор физико-математических наук



С 23 по 26 августа в Петропавловске-Камчатском прошла Международная школа-семинар «Проблема оценки цунами-риска», состоявшаяся при поддержке РФФИ. На этом, первом на камчатской земле международном научном совещании по данной проблеме собралось 53 участника, в их числе 21 — из США, Японии и Южной Кореи. В своих вступительных приветствиях важность обсуждаемой проблемы для региона, страны и мира подчеркнули губернатор Камчатки В.А.Бирюков, начальник гидрографической службы Российского военно-морского флота вице-адмирал А.А.Комарицын и представитель Международной океанографической комиссии ЮНЕСКО Ю.В.Олюнин. Поскольку наш журнал недавно опубликовал обзорную статью об этом разрушительном явлении<sup>1</sup>, нет необходимости детально излагать основы современных представлений о нем, можно уделить большее внимание тем новым результатам и идеям, которые прозвучали на семинаре.

Цунами — следствие землетрясения. Возникая значительно реже и по энергии уступая своей первопричине, оно лидирует по количеству человеческих жертв и нанесенному ущербу. Причина такого «несоответствия» в том, что плотность населения в опасной близости от берега мирового океана на несколько порядков выше средней по всей суше. Именно поэтому необходимо знать меру риска для каждой местности и уметь заблаговременно предупредить людей о бедствии.

Основная неопределенность при оценке вероятности возникновения мощных цунами состоит в том, что накопленная статистика пока еще недостаточна для построения региональных распределений цунами по интенсивности (типа закономерности Гутенберга—Рихтера для землетрясений). Нет даже уверенного ответа на вопрос, степенным или экспоненциальным должно быть это распределение.

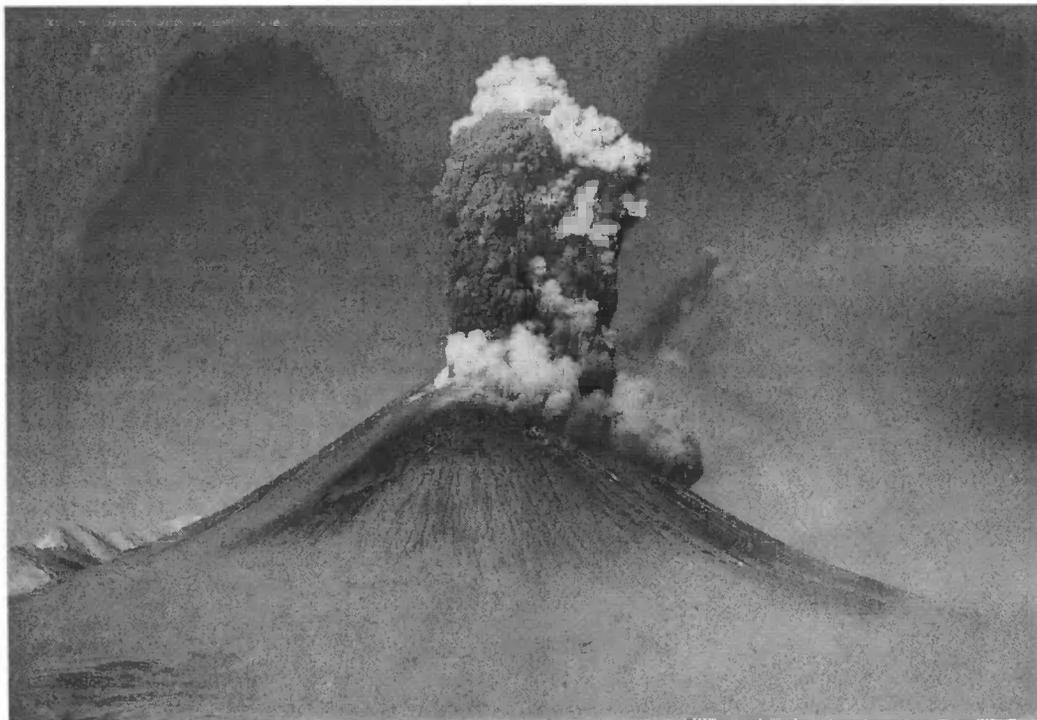
Проблема статистики цунами, в отличие от землетрясений, — региональна, а не глобальна: внешние проявления цунами сильно зависят от формы подводного рельефа, поэтому перевод записей мареографов и свидетельских показаний в универсальные физические величины типа магнитуды не всегда однозначен. Но главное: корреляция между магнитудой землетрясения и высотой волны порожденного им цунами, как это ни странно, слабая.

Численное моделирование явления, как следует из обзорного доклада К.Синолакиса (С.Synolakis; США) имеет и свои успехи, и нерешенные задачи. Удастся рассчитать ход волны цунами в океане. Более или менее надежно оценивается возможность опрокидывания ее переднего фронта при подходе к берегу. Однако расчет генерации волны вблизи очага землетрясения пока не привел к уверенному соответствию между инструментальными наблюдениями землетрясений и следующих за ними цунами.

В этих условиях принципиальную роль для оценки регионального риска приобретает изучение следов гигантских цунами, произошедших до начала инструментальных измерений. Обзор данных по палеоцунами на восточном побережье Тихого океана дала Дж.Буржеа (J.Bourgeois; Университет штата Вашингтон в Сиэтле, США), цунами на Гавайях анализировал Дж.Кэртис (G.Curtis; Гавайский университет, США), истории некоторых японских и индонезийских цунами посвятил свой доклад К.Миноура (K.Minoura; Университет Токио, Япония). Однако наиболее полную «летопись» цунами удалось получить именно на Камчатке. Этому помогла ранее установленная последовательность мощных извержений камчатских вулканов в голоцене (О.А.Брайцева; Институт вулканической геологии и геохимии РАН). Сотрудник того же института (ИВГиГ) Т.К.Пинегина доложила на семинаре о датировке 50 палеоцунами, начиная с 6 тыс. лет до настоящего времени, по их отложениям в торфе, разделенном слоями вулканического пепла от известных извержений.

© Бялко А.В. Камчатка: мощь недр, коварство океана, усилия науки.

<sup>1</sup> Левин Б.В. Цунами и моретрясения в океане// Природа. 1996. № 5. С. 48—61.



*Начало извержения вулкана Карымский 3 января 1996 г.*

*, Фото С.А.Федотова*

Интересно, что как частота цунами, так и интенсивность вулканических извержений на Камчатке одновременно возрастали в начале нашей эры.

На секции сейсмотектоники цунами известный камчатский геоморфолог И.В.Мелекесцев (ИВГиГ) дал ключ к разгадке перечисленных несоответствий, высказав ряд новых аргументов в пользу почти забытой идеи Б.Гутенберга: некоторые цунами могут порождаться не непосредственно землетрясением, а вторичными явлениями — подводными оползнями на континентальном склоне, спровоцированными первичным толчком. Поскольку основная энергия гидродинамического движения поступает в этом случае не от самого землетрясения, а за счет гравитационного потенциала континентального склона, эта идея на качественном уровне объясняет слабую корреляцию между магнитудой землетрясения и интенсив-

ностью цунами. Теория лавин на критическом откосе позволяет сделать предварительный вывод о степенной зависимости вероятности цунами от его энергии. Безусловно, гипотеза Мелекесцева нуждается в статистической, численно-модельной, а возможно, и экспериментальной проверке.

Обсуждение проблем цунами проходило в здании, где размещаются две академические организации: Институт вулканологии (директор академик С.А.Федотов) и ИВГиГ (директор доктор геолого-минералогических наук Б.В.Иванов). Это обстоятельство дало возможность ознакомиться с частью работ, ведущихся в обоих институтах. Кдроблению научных коллективов сегодня, при отсутствии монополии финансирования, можно было бы относиться более спокойно, но, к сожалению, моральные раны, нанесенные людям при разделении института, еще открыты, они проявлялись почти при всех научных контактах. Это, конечно, не идет на пользу общему делу, а конкуренция при нынешнем недостатке



*Вверху: Вулкан Карымский в августе 1996 г.*

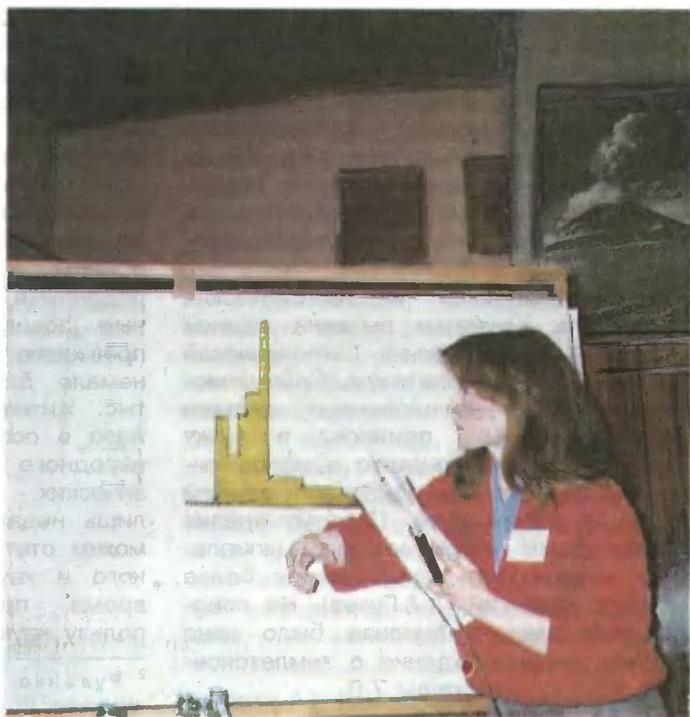
*Внизу: Озеро Карымское диаметром 3 км. Слева — вновь образовавшийся полуостров с кратером от взрыва 2 января 1996 г. После извержения уровень воды в озере опустился на несколько метров.*

*Фото Л. Н. Рыкунова*





**Установка для измерения электростатического поля в комплексном геофизическом автономном пункте "Карымшино" Института космических исследований и распространения радиоволн. Слева направо: П.П.Фирстов (ИВГиГ РАН), Б.А.Трубинков (Институт ядерного синтеза), Г.И.Дружин (ИКИР РАН). На заднем плане сопка Бабий Камень.**



**Доклад Т.К.Пинегиной "Следы палеоцунами в долине р. Жуванова" на семинаре "Проблема оценки цунами-риска". Пик гистограммы на стенде отражает возрастание частоты цунами в начале нашей эры.**

финансирования не всегда целесообразна. Поскольку не вижу принципиальной разницы в тематике институтов, не буду указывать конкретно, кто к какой организации причислен.

Институты проводят постоянный мониторинг сейсмической и вулканической деятельности одного из самых активных регионов планеты. Кроме стандартной регистрации сейсмических колебаний отслеживаются вариации атмосферного давления: его скачки от вулканических выбросов отчетливо регистрируются с больших дистанций (П.П.Фирстов). Это позволяет оперативно обнаруживать новые извержения, что для Камчатки более чем актуально. Так, после сильного землетрясения 1 января 1995 г. необъяснимо началось извержение вулкана Карымский, продолжающееся до сих пор: на дне озера диаметром 3 км, расположенного в близлежащей старой кальдере, образовалось новое жерло вулкана. Выбросы сформировали полуостров. С одной из станций, расположенной вблизи Карымского, ведутся наблюдения.

Идет не только накопление данных, но их обобщение и теоретический анализ. Многообразные формы вулканических извержений недавно удалось сопоставить в рамках единого гидродинамического механизма (Ю.Б.Слезин). Связь мощных вулканических взрывов типа Сент Хеленс, Эль Чичон, Пинатубо с предшествующими оползнями, резко снимающими давление в магматическом очаге, исследуют супруги А.Б. и М.Г. Белоусовы.

Вулканическая и тектоническая активность Камчатки вызвана единой причиной — подвижкой Тихоокеанской плиты под Евро-Азиатскую. Сейсмические волны, генерированные малыми землетрясениями, приносят в пункт регистрации информацию о напряженно-деформационном состоянии земной коры на своем пути. Поэтому анализ сейсмограмм открывает принципиальную возможность предсказания более мощных событий (А.А.Гусев). На основе оперативного анализа было дано раннее предупреждение о землетрясении 1983 г. магнитуды 7.0.

В поселке Паратунка (30 км от Петропавловска) расположен Институт космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР РАН, директор доктор технических наук Е.Ф.Вершинин). С обширной сети станций от Сахалина до м. Шмидта в институте собирается и анализируется информация о вариациях геомагнитного поля, фона радиоволн в нескольких частотных диапазонах и напряженности земного электрического поля. Отмечается необычный ход сигналов, в частности изменение знака вертикальной составляющей электрического поля за 12—13 часов до крупных землетрясений с очагами на расстояниях около 200 км от станций наблюдения. Зафиксированы два таких события с магнитудой 7.0: 13 ноября 1993 г.<sup>2</sup> и совсем недавно, 21 июня 1996 г.

На Камчатке геологические масштабы времени пересекаются с человеческими, а обыденная жизнь напрямую зависит от мощной и трудно предсказуемой активности земных глубин. Авторитет ученых среди жителей Камчатки время от времени поддерживает сама природа. Именно поэтому внимание местной администрации к нуждам науки поучительно для всей России.

На прошедшей встрече губернатора Камчатки Бирюкова с одним из организаторов школы-семинара Б.В.Левиным и директором камчатского Центра мониторинга сейсмической и вулканической опасности С.Т.Балестой обсуждались принципиальные вопросы по разработке совместной программы области и РФФИ по конкурсной поддержке научных проектов. Областные ассигнования на науку сейчас превышают 1 млрд руб. в год, что уже немало для региона, где всего 400 тыс. жителей. Была также высказана идея о создании на Камчатке международного центра по изучению геофизических явлений. Это начинание, лишь недавно ставшее реалистичным, может стать основой для познавательного и научного туризма и в то же время принести непосредственную пользу науке на Камчатке.

<sup>2</sup> Руленко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. ДАН. 1996. Т. 348. № 6. С. 814—816.

# Вулканогенные структуры и руды

А. А. Фролов

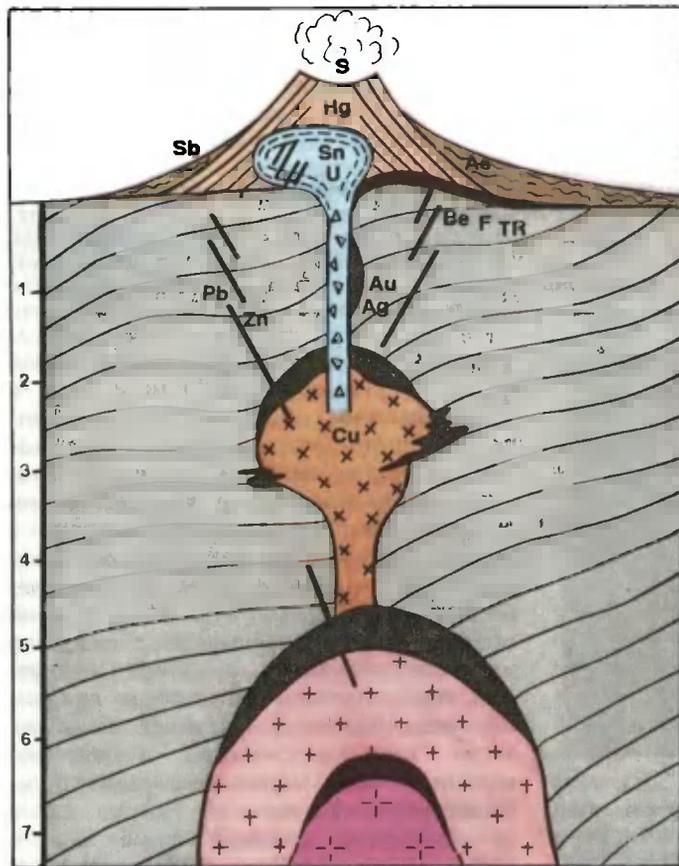
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) при Российской академии наук уже несколько лет финансирует лучшие исследовательские работы отечественных ученых. К сожалению, как правило, информация об этих работах доступна лишь небольшому кругу специалистов. Именно поэтому экспертная комиссия Фонда предложила автору одного из наиболее интересных проектов написать статью специально для нашего журнала. Мы надеемся, что такая практика будет продолжена и в дальнейшем.



*Анатолий Александрович Фролов, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья. Область научных интересов — рудоносные вулканогенные структуры. Один из основоположников научного направления по рудоносным кольцевым структурам. Автор методики локального прогнозирования фосфорно-редкометалльных карбонатитовых и вольфрамовых месторождений. Академик Академии минеральных ресурсов.*

ГЕОЛОГИ давно подозревали связь процессов оруденения не только с интрузиями магм, но и с вулканической деятельностью. Однако до второй половины нашего века господствовало представление о формировании рудных месторождений в связи с плутоногенными магматическими телами — застывшими интрузиями магмы на глубине более 1—1.5 км. Прочной позиции этой гипотезы способствовало широкое описание в учебной и научной геологической литературе генезиса ряда крупных рудных объектов, таких как классические собственно магматические медно-никелевые руды Садбери в Канаде и Норильска в Притаймырье, хромиты Бушвельда в ЮАР, апатиты Хибин, образованные из гидротермальных растворов, которые отделились на глубине от магмы; руды вольфрама Джиды в Забайкалье, меди и молибдена Каджарана в Армении, олова и урана Рудных гор Чехии и Германии, золотоносные жилы Урала и другие масштабные рудные проявления в глубинах земной коры.

Дальнейшие исследования показали, что природный рудный процесс значительно сложнее и многообразнее, чем представлялось. Рудообразование сопровождается весь длительно протекающий магматизм, начиная с ранних его этапов. Наиболее отчетливо многоактное развитие оруденения происходит в ходе вулканической деятельности и может, в частности, начинаться с излияния магнетитовой лавы, как при извержении вулкана Эль-Лако в Чили, и кончатся формированием



*Рудоносная вулканоплутоническая система. Такие вулканические структуры характеризуются одновременным образованием руд и многоэтажным их размещением.*

стратиформных вулканогенно-осадочных залежей руд цветных и черных металлов. Поэтому генетическая классификация вулканогенных месторождений включает разнообразные типы месторождений полезных ископаемых.

Гипноз глубинного формирования рудных месторождений стал ослабевать во второй половине нашего века, когда получила развитие новая отрасль геологии — вулканология. Первая Всесоюзная вулканологическая конференция проводилась в 1959 г., и вскоре за ней в 1963 г. состоялось межведомственное совещание по проблеме: «Рудоносность вулканогенных формаций». Геолого-структурный аспект этого нового перспективного направления был значительно усилен исследованиями В.Н.Котляра, В.И.Казанского, А.И.Кривцова, Н.П.Лаверова, В.А.Невского, В.И.Смирнова, В.И.Старостина, Г.Ф.Яковлева и др.

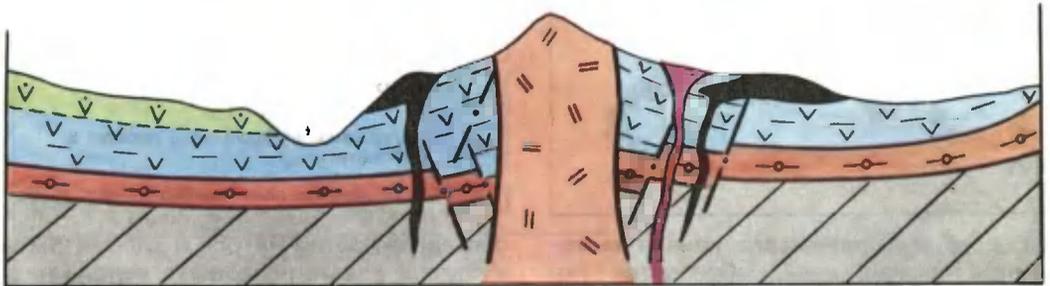
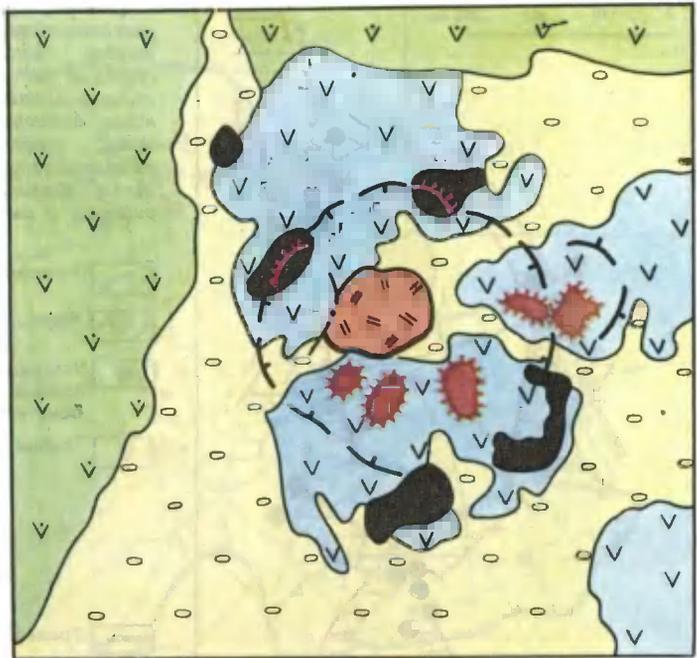
Более 40 лет автор занимается расшифровкой вулканогенных геологических структур и связанных с ними месторождений цветных и редких металлов. Статья основана на многочисленных собственных наблюдениях и одновременно носит обобщающий характер.

\*

Вулканические процессы — грандиозные природные события. Наземные их проявления необычайно впечатляющи. С ними связаны невероятные бедствия и вместе с тем полезная работа: формирование руд металлов, строительных материалов; плодородных пепловых покровов и термальных минерализованных источников. Рудоносные вулканогенные структуры бывают трех генетических типов: вулканические, субвулканические и вулканоплутонические (табл.1). В отличие от вулканитов магма в образованиях последних двух групп не

**Схема геологического строения магнетитового месторождения (вверху — план, внизу — разрез) в кальдере вулкана Эль-Лако (Чили).**

-  Морена
-  Поздние андезиты
-  Магнетитовая лава
-  Игнимбриты
-  Риодациты
-  Ранние андезиты
-  Палеозойские терригенные породы
-  Разрывные нарушения
-  Кольцевой разлом кальдеры
-  Молодые кратеры



всегда достигает поверхности<sup>1</sup>. Однако в условиях малой глубины, обычно не превышающей 1.5—2 км, магматический расплав быстро теряет летучие компоненты и, переохлаждаясь, кристаллизуется, формируя порфировые породы, по своему облику схожие с вулканическими эффузивными и экзтрузивными образованиями.

Вулкан центрального типа обычно имеет вид конусообразной горы высотой в сотни метров (иногда — до нескольких километров), при скорости роста, достигающей сотен метров в месяц. Ее склоны сложены застывшей

магмой, пеплом, вулканическими бомбами. Вершина оканчивается кратером — углублением, образованным в результате активной эксплозивной деятельности вулкана. На дне кратера находится канал — жерловина. Если канал заполнен застывшей лавой или брекчией (пирокластами), образующими жерловую пробку, то в кратере обычно располагается озеро. Излияние магмы и выброс пирокластов за пределы вулканического конуса приводит к образованию широких покровов или узколинейных потоков. В случае подводного извержения покровы и потоки представлены шаровыми и подушечными лавами.

При многократных процессах,

<sup>1</sup> Невский В.А., Фролов А.А. Структуры рудных месторождений кольцевого типа. М., 1985.

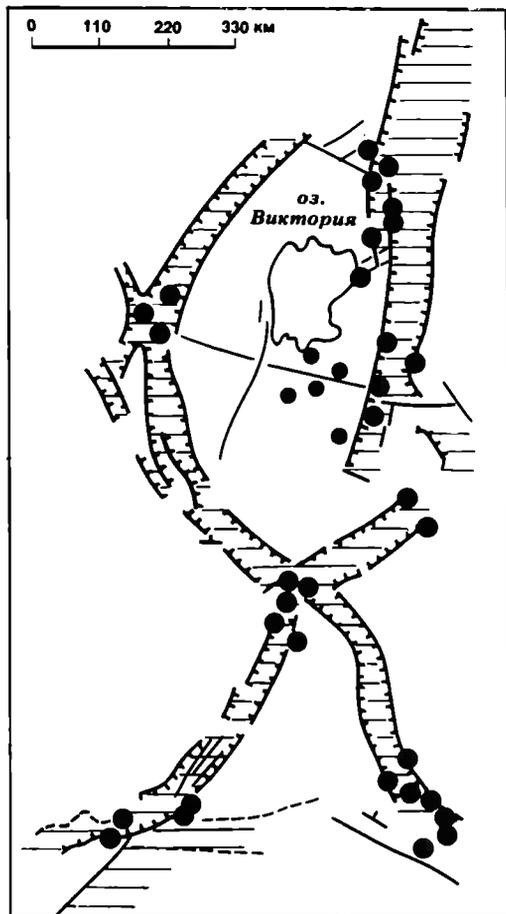


Схема размещения рудоносных массивов ультраосновных-щелочных пород, карбонатитов и трубок кимберлитов в Восточной Африке (слева) и на Сибирской платформе. Эти вулканоплутонические комплексы концентрируются исключительно в структурах рифтового типа, особенно в местах сочленения и разветвления разломов; причем щелочные породы и карбонатиты располагаются в самих рифтах, а кимберлиты — в их бортах.

-  Разломы
-  Рифты
-  Ультраосновные щелочные породы и карбонатиты
-  Трубки кимберлитов
-  Граница платформы
-  Кристаллические щиты и выступы
-  Рифтовые структуры
-  Разломы
-  Ультраосновные щелочные породы и карбонатиты
-  Алмазоносные поля кимберлитовых трубок

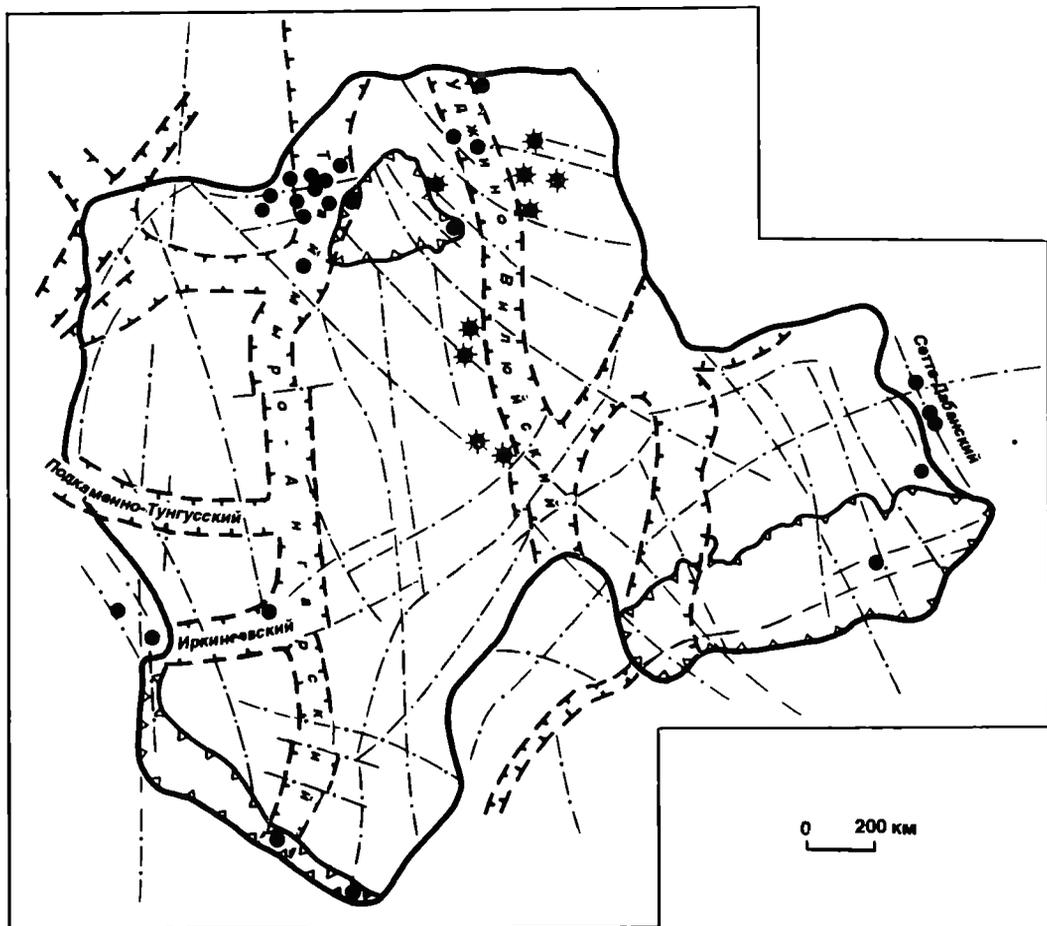
когда из вулканического канала выжимается вязкая лава, образуется постройка другого типа — вулканический купол с довольно крутыми склонами (более 40°). Первые порции выступающей лавы образуют твердую корку, которая выдавливается вверх, остывает, расширяется в результате вспучивания, растрескивается и обрушивается вниз по склону, образуя характерные осыпи.

Жерловая пробка на глубине переходит в столбообразное тело — некк, с диаметром в десятки и сотни метров (иногда — до нескольких километров). При масштабных вулканических извержениях и в связи со значительным опустошением магматического очага происходит проседание вулканической постройки в контуре кольцевого разлома с появлением отрицательной структуры — кальдеры. Диаметр кальдер

составляет сотни метров и километры, а в случаях охвата нескольких вулканических центров достигает 30—40 км.

Во всех вулканогенных образованиях рудомещающими являются генетически различные трещины: инъективные, возникшие при внедрении магмы; контракционные, обусловленные ее остыванием и сокращением объема; эксплозивные — результат взрывных явлений — и тектонические, образованные при подвижках по разломам<sup>2</sup>. Нередко структурные формы вулканических, субвулканических и даже плутонических тел сложного сочетаются в единой вулканоглутонической системе. Такие рудоносные системы, продуцирующие одновременное оруденение, характеризуются многоэтажным его размещением в вертикальном разрезе.

<sup>2</sup> Яковлев Г.Ф. Вулканогенные структуры месторождений полезных ископаемых. М., 1984.



Вулканогенные системы как центры магматизма обладают высокой степенью структурной открытости, характеризуются тесной сопряженностью во времени магматического и рудного процессов и благоприятны для формирования месторождений магматического, вулканогенно-гидротермального, вулканогенно-осадочного и эксгальционного генезиса, охватывая в целом широкий круг полезных ископаемых: железо, медь, золото, серебро, уран, олово, вольфрам, молибден, алмазы, ртуть, сурьму, плавиковый шпат, серу, строительные материалы и драгоценные камни<sup>3</sup>.

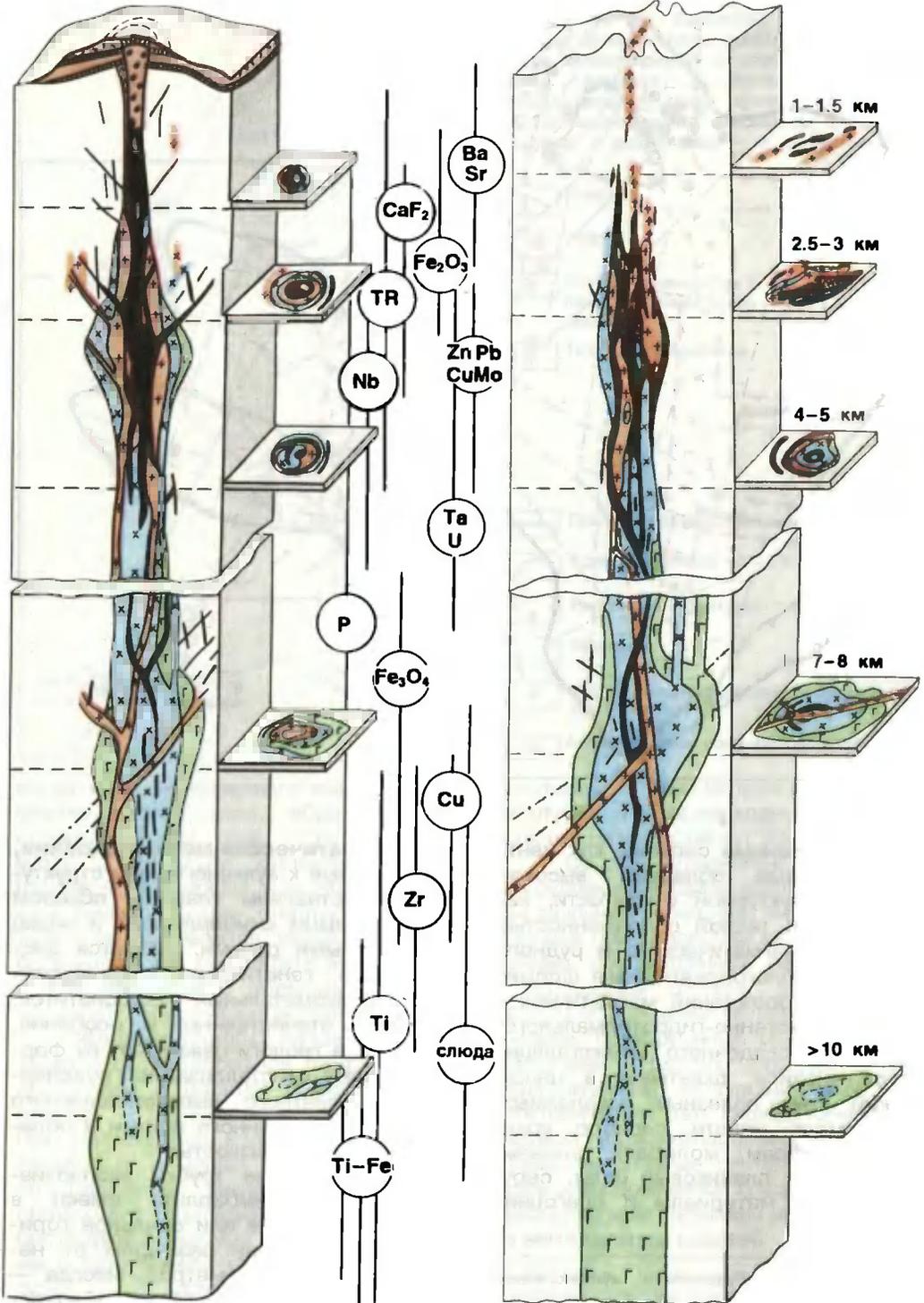
**Магматические месторождения,** приуроченные к вулканогенным структурам, представлены главным образом алмазонасными кимберлитами и редко магнетитовыми рудами. Остается дискусионной генетическая принадлежность редкометальных карбонатитов. Некоторые отечественные и, особенно, зарубежные геологи связывают их формирование с кристаллизацией рудоносного карбонатного высокоподвижного расплава, насыщенного газами и обладающего низкой вязкостью.

Алмазонасные трубки эксплозивных брекчий кимберлита имеют в основном округлое или овальное горизонтальное сечение размером от нескольких до сотен метров, иногда — нескольких километров. По особеннос-

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

ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ТИП

ГЛУБИННЫЙ ТИП



**Таблица 1**  
**Структурно-морфологические типы вулканогенных месторождений**

Главные типы рудоносных структур		Морфологические типы рудных тел	Примеры месторождений
I. Вулканические конусы, потоки, покровы	купола,	Пластовые массивных и слоистых руд. Секущие жилы, штокверковые и метасоматические тела внутри покровов и куполов	Асио (Япония), Брокмен (Австралия), Эль-Индио (Чили)
Вулканические экструзивные купола	некки,	Линейные, кольцевые, дуго-видные жилы, штокообразные залежи неправильной формы	Торор (Уганда), Потоси (Боливия), Сакэрымб (Рундия)
II. Субвулканические штоки, (грибообразные дайки (вертикальные стенки)	купола, лакколлиты интрузии),	Штокообразные, цилиндрические, конические, аркообразные тела штокверковых руд, линейные и кольцевые жилы, прикровлевые метасоматические залежи, алмазоносные дайки	Бингем, Гендерсон (США), Кимберли (ЮАР), Джанет (Казахстан), Спокойное (РФ)
III. Кальдеры		Линейные и кольцевые жилы, жилообразные тела и штокверковые зоны кольцевой и радиальной ориентировки, трубки, линзы	Сильвертон, Лейк-Сити, Крипл-Крик (США), Каверковые зоны (Казахстан)
Эксплозивные брекчированных пород	трубки	Штокообразные, линзовидные тела линейной и кольцевой формы	Булукутай, Мир (РФ), Актюз (Киргизия), Премьер (ЮАР)

тям внутреннего строения в трубках выделяются три части: верхняя — кратерная, средняя — диатремовая, нижняя — представляющая подводной канал. Диатремы — основной источник добычи алмазов. Распределение алмазов весьма неравномерное, установлена общая тенденция: уменьшение их содержания с глубиной трубки. Ка-

нальные части трубок имеют дайкообразную форму. Трубка «Кимберлей» перешла в дайку на глубине 1094 м, а «Ягерсфонтейн» — на глубине 750 м.

Исключительное событие произошло в позднем неогене, когда из нескольких жерл вулкана Эль-Лако был извергнут магнетитовый расплав в виде пяти потоков мощностью до 20 м с содержанием 50% железа и запасами 1 млрд т.

**Вулканогенно-гидротермальные месторождения** получили широкое развитие во всех вулканогенных структурах. Особенно высоким потенциалом рудолокализации обладают кальдеры, определяющие зрелость вулканической системы, в которой отмечаются некки, экструзивы, покровы, купола, штоки и трубки эксплозивных брекчий. Уникальные масштабы бериллиевого оруденения сосредоточены в риолитовых туфах и туфолавах вблизи некков кальдеры Томас-Рейндж (штат Юта, США). Минерализация в виде бертрандита, флюорита, халцедона, кальцита и

*Схема вертикальной зональности строения и состава массивов ультраосновных пород с карбонатитами (см. пояснения в тексте на стр. 18—19).*



Эффузивные и экструзивные образования



Карбонатиты



Сиеениты нефелиновые и щелочные



Породы якупирангит-уртитовой серии



Ультрамафиты (пироксениты и оливиниты)



Разломы



*Участники Международного симпозиума по карбонатитам в карьере месторождения Ковдор. Кольский п-ов.*

*Здесь и далее фото автора*

гематита образует прожилки и выполнения миндалекаменных пустот.

Золоторудные жилы на месторождении Сакэрымб в Румынии проявлены в верхнежерловой части андезитового вулкана. Экструзивный конический купол Потоси в Боливии, сложенный дацит-порфирами, вмещает систему жил олово-серебряных руд.

Особым динамическим режимом характеризуется формирование штоков и куполов порфировых пород. Структурные и геоморфологические реконструкции свидетельствуют о малоглубинных условиях становления такого рода структур и локализованных в них молибденовых месторождений Клаймакс и Гендерсон (штат Колорадо, США). Весьма широким распространением, особенно в зоне Тихоокеанского кольца, пользуются медно-молибденовые месторождения, часть которых может быть отнесена к трубкам взрыва, так как рудовмещающие штоки порфировых пород претерпели многократное брекчирование<sup>4</sup>. Вертикальная протяженность промышленного оруденения более 1 км.

Образование уникального палеоген-неогенового месторождения ртути Альмаден в Испании обусловлено внедрением экструзий порфировых пород, сопровождаемым взрывами и поствулканической гидротермальной деятельностью во вмещающих песчаниках. Богатые руды месторождения обрабатываются более 2000 лет.

Гидротермальные урановые месторождения локализируются в разнообразных вулканических обстановках. Они распространены в структурах некков, среди покровных вулканитов в пределах кальдер, в экструзивах, штоках и трубках эксплозивных брекчий<sup>5</sup>.

**Вулканогенно-осадочные месторождения.** Вулканогенно-осадочный процесс рудоотложения характерен для образования так называемых колчеданных месторождений меди, свинца, цинка, широко распространенных на Алтае и Урале. Своеобразные колчеданные руды типа Куроко известны в Японии. Отлагаясь в миоцене на

<sup>4</sup> Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М., 1983.

<sup>5</sup> Казанский В.И., Лаверов Н.П. Месторождения урана // Рудные месторождения СССР. Т.2. М., 1978. С.327—389.

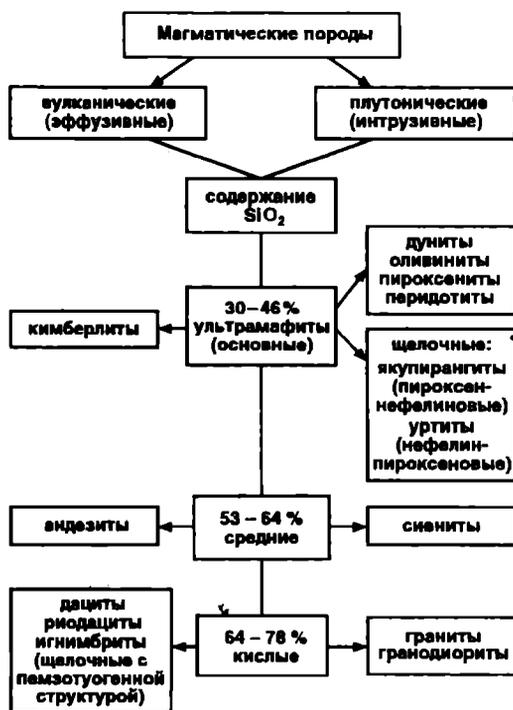
**Таблица 2**  
**Минералы, встречающиеся в вулканогенных структурах**

Название	Формула
Апатит	$\text{Ca}_5[(\text{PO}_4)_3](\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$
Аурипигмент	$\text{As}_2\text{S}_3$
Антимонит	$\text{Sb}_2\text{S}_3$
Альбит (полевой шпат)	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
Анкерит	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})[\text{CO}_3]$
Борнит	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
Барит	$\text{BaSO}_4$
Бертрандит	$\text{Be}_4(\text{OH})_2[\text{SiO}_4]$
Гатчеттолит	Урансодержащий пиррохлор
Галенит	$\text{PbS}$
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Кальцит	$\text{CaCO}_3$
Киноварь	$\text{HgS}$
Мелилит	$\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Mg})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_7$
Нефелин	$\text{Na}_3\text{K}[\text{AlSiO}_4]_4$
Оливин	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$
Пирит	$\text{FeS}_2$
Пиррохлор	$\text{NaCa}(\text{F}, \text{OH})\text{Nb}_2\text{O}_6$
Пироксен	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Перовскит	$\text{CaTiO}_3$
Реальгар	$\text{As}_4\text{S}_4$
Сидерит	$\text{FeCO}_3$
Стронцианит	$\text{SrCO}_3$
Сфалерит	$\text{ZnS}$
Халцедон	$\text{SiO}_2$
Халькопирит	$\text{CuFeS}_2$
Флюорит	$\text{CaF}_2$
Флогопит (слюда)	$\text{KMg}_3(\text{OH}, \text{F})_2[\text{AlSi}_2\text{O}_{10}]$

дне мелководного моря глубиной 100—200 м, они представляют собой массивный мелкозернистый агрегат офалерита и галенита с подчиненным количеством халькопирита, пирита, борнита и других минералов.

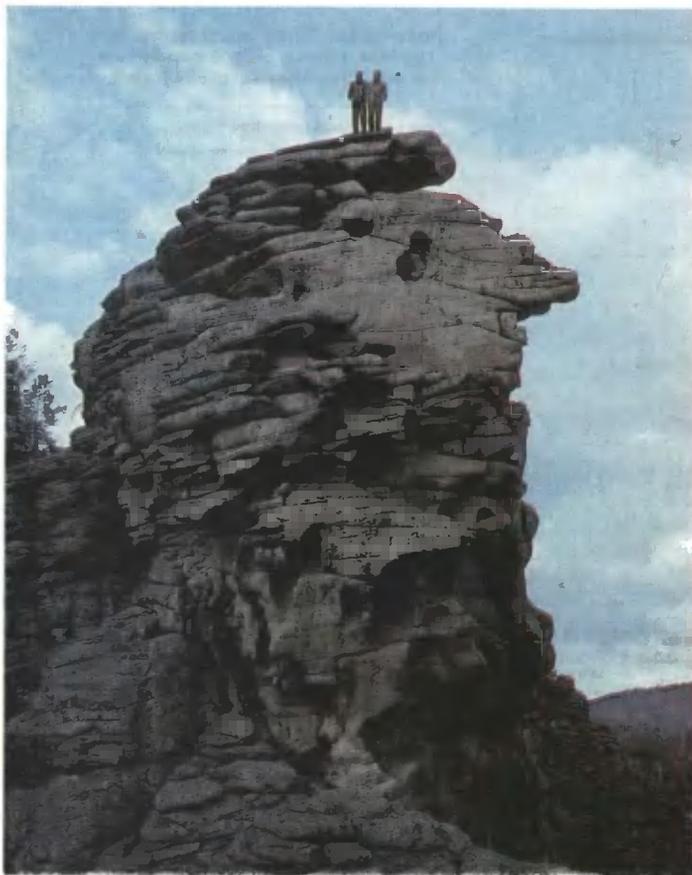
**Эксгаляционное рудообразование.** Действующие и потухшие вулканы с разной интенсивностью сопровождаются деятельностью фумарол и сольфатар-истечением горячих вулканических газов и пара в виде струй из вулканизов. Большинство осадившихся твердых веществ — продукты сложных реакций между различными газами, между газами и атмосферным воздухом, водой и твердой горной породой, окружающей место выхода газов. Поструптивный период на активных вулканах выражается интенсивным эксгаляционным мине-

**Некоторые типы магматических горных пород, встречающихся в вулканогенных структурах**



ралообразованием. В вулканических возгонах определено около 150 минералов, из них — до 30 рудных. С парагазовыми струями из вулкана Кудрявый (Курильская гряда) в год выносятся от 1 до 10 т рения, индия, германия, молибдена, кадмия и от 10 до 100 т мышьяка, свинца, цинка. В качестве примера современного образования ртутно-сурьмяно-мышьякового оруденения можно привести Узоно-Гейзерское месторождение в одноименной кальдере на Камчатке. Руды сложены киноварью, аурипигментом, реальгаром, антимонитом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, пиритом и прослеживаются на глубину до 7 м.

Особо следует остановиться на уникальных по своему строению, составу и рудоносности вулcano-плутонических комплексах, сложенных **ультраосновными-щелочными породами и карбонатитами**. Таких комплексов насчитывается более 300, они известны на всех континентах и концентрируются исключительно в материковых структу-



*Коренные выходы субвулканических куполов (справа) и штоков гранит-порфиров. Центральный Казахстан.*

рах растяжения рифтового типа, особенно в местах сочленения, разветвления и пересечения разломов. Для них характерно зонально-кольцевое строение с сочетанием штоков, цилиндрических, конических тел, кольцевых и радиальных даек, жил, штокверковых и метасоматических зон. С глубиной отмечается переход вулканических аппаратов или сохранившихся их фрагментов в штокообразные, а затем линейновытянутые линзовидные и трещинные дайкообразные тела. Здесь проявлена та же тенденция, что и с кимберлитовыми трубками, переходящими на глубине в дайки.

\*

Горные массивы отличаются удивительно постоянной серией последовательно сформированных пород (от ранних к поздним): ультрамафиты (оливиниты, пироксениты, дуниты, перидотиты); пироксен-нефелиновые по-

роды, меллитовые и нефелиновые щелочные породы и карбонаты.

В ходе дифференциации родоначальной ультраосновной магмы и образования такой серии пород повышается роль щелочей, особенно натрия, и падает активность кремнекислоты. Происходит вынос железа, титана, магния, кальция и накопление их в остаточном расплаве. Объединение ультраосновных, щелочных и карбонатных пород в рамках единой магматической формации объясняет большое разнообразие локализованных в них полезных ископаемых (ниобия, тантала, редких земель, фосфора, железа, титана, меди, циркония, свинца, цинка, молибдена, флюорита, флогопита, барита). В связи с закономерным размещением магматических и постмагматических образований выражена вертикальная зональность связанной с ними



рудной минерализации. В общем виде она может быть представлена следующей схемой (снизу вверх). Магматические перовскит-титаномагнетитовые месторождения в ультрамафитах сменяются флогопитоносными метасоматитами и апатит-магнетитовыми образованиями. Выше появляются пироксеновые (ниобиевые) и гатчеттолитовые (тангало-ниобиевые урансодержащие) руды в альбититах и кальцитовых карбонатитах. На еще более высоких уровнях основная роль принадлежит редкоземельным, флюоритовым, гематитовым и барит-стронцианитовым месторождениям, локализованным в штоках доломитовых, анкеритовых и сидеритовых карбонатитов. Над последними среди вулканитов или в кровле, когда рудоносный массив не выходит на поверхность, в зонах окварцевания, карбонатизации и альбитизации вмещающих пород распространена редкоземельная, ториевая и урановая минерализация. Общий вертикальный размах рудного комплекса

составляет не менее 8—10 км, а его отдельных минеральных типов — от 1—2 км для верхних частей рудоносных массивов и до 3—5 км — для средних и нижних уровней.

\*

Первичная щелочно-ультраосновная магма имеет глубинное мантийное происхождение, и селективная выплавка ее из подкорковых горизонтов Земли связана с падением давления в зонах глубокопроникающих рифтогенных структур растяжения. В истории развития земной коры такие структуры весьма характерны для рифея и особенно для мезо-кайнозоя, соответствующего наивысшему периоду ее деструкции. Самые крупные рифты вытягиваются в виде поясов протяженностью до 2,5—3 тыс. км, преимущественно меридиональной ориентировки (Восточно-Африканский, Восточно-Бразильский, Ангаро-Таймырский, Уджино-Вилуйский, Сетте-Дабанский и др.). Такие пояса определяют пространст-

венное положение многих рудоносных массивов с карбонатами и полей алмазоносных кимберлитовых трубок. Однако, несмотря на единый тектонический контроль, структурные позиции их не совпадают: массивы с карбонатами располагаются в самих рифтах, а кимберлитовые трубки — в их бортах. Иллюстрацией данного различия служат Восточно-Африканская рифтовая зона и Уджино-Виллюйский рифт. Это объясняется некоторым разрывом во времени поступления родоначальных магм в ходе формирования структуры рифта.

Интересные факты научного и практического значения выявляются при изучении современного вулканизма. Сейчас к числу действующих относится около 900 вулканов, в основном сосредоточенных в Средиземноморском и особенно Тихоокеанском сейсмически активных поясах. В течение года вулканами выносятся из недр Земли не менее 5—6 км<sup>3</sup> продуктов извержения, из них 80% приходится на подводный вулканизм. Вулканическая деятельность и связанное с нею формирование руд происходит ныне в зоне Тихоокеанского кольца срединно-океанических хребтов<sup>6</sup>. Глобальная система последних имеет общую протяженность около 70 тыс. км. В рифтовых структурах, составляющих осевые части этих хребтов, находят выход гидротермы «курильщиков» с температурой до 350 °С, отлагающие рудное вещество.

Вулканогенное рудообразование имеет длительную историю и практически охватывает весь период развития земной коры. В архее известны месторождения железа и марганца. В последующие протерозойские эпохи появились колчеданно-полиметаллические руды, обусловленные широким развитием островодужного вулканизма

андезитов и риолитов. Эти процессы активизировались в палеозое и особенно в мезо-кайнозойский рифтовый период, когда деструкция земной коры достигла своего максимума и были сформированы основные структуры Тихоокеанского вулканического пояса, Тетиса, Восточно-Африканской рифтовой зоны, и образовались крупнейшие в мире комплексные месторождения меднопорфирового и карбонатитового типов. Таким образом, вулканизм и рудообразование претерпели направленное изменение, имели необратимый характер в ходе тектоно-магматической эволюции земной коры.

Потухшие вулканы Кавказа — ныне закованные в ледяные панцири Казбек и Эльбрус — сохраняют нетронутыми рудные сокровища. Через десятки миллионов лет работа ветра, воды и температурного градиента обнажит их богатства. И, подобно эродированным вулканам Анд, они откроют промышленные скопления руд меди, олова, вольфрама, серебра и других металлов. А ныне действующие вулканы Камчатки, Курильских и других островов Тихоокеанского сейсмического кольца, подводных рифтов Атлантического и Индийского океанов продолжают наращивать рудные залежи.

Роль вулканогенных месторождений в общем балансе многих полезных ископаемых весьма значительна, и можно считать, что вулканогенный процесс основательно конкурирует в рудообразовании с плутоногенным в пределах вулканических и вулканоплатонических поясов континентов, островных дуг и океанических рифтовых зон. Такие рудные гиганты, как Клаймакс, Гендерсон, Бингем, Потоси, Ляллягуа, Сильвертон, Томас-Маунтин, Эль-Тениенте, Тапира, составляют основу мировой сырьевой базы молибдена, меди, олова, золота, серебра, урана, бериллия, ниобия и редких земель.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 94-05-16615-а).**

<sup>6</sup> См. например: Лисицын А.П. Главные хранилища сульфидных руд // Природа. 1989. № 2. С.38—51.

# Путешествие в древний мир Ингальской долины

А. В. Матвеев



*Александр Васильевич Матвеев, кандидат исторических наук, заместитель директора по науке и заведующий лабораторией археологии и этнической антропологии Института проблем освоения Севера СО РАН. Изучает древние культуры Западной Сибири. Автор и соавтор монографий и научно-популярных книг «Ирменская культура в лесостепном Приобье» (Новосибирск, 1993), «Археологические путешествия по Тюмени и ее окрестностям» (Тюмень, 1994), «Памятники древних и средневековых культур Ямала» (Тюмень, 1994) и др. В журнале «Природа» опубликовал статью «Древнее золото "60-й параллели"» (1991, № 9).*

**Н**А АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ карте Тюменской области до сих пор немало «белых пятен», исследование которых сулит замечательные открытия. Попасть в «затерянный мир» древних и средневековых культур можно менее чем за полчаса езды по любому из двух шоссе, которые ведут из Тюмени на юг. Примерно через 75 км оба они огибают обширную низменность, раскинувшуюся между Тоболом и Исетью, у слияния этих рек. Здесь на площади около 150 км<sup>2</sup>, где петляют среди лугов две исетские протоки, две Ингалы — Большая и Боровая, сосредоточено несколько сотен поселений, городищ, курганных и грунтовых могильников, относящихся к каменному, бронзовому и железному векам.

Впервые на дно этой гигантской впадины, расположенной на стыке Исетского, Упоровского, Заводоуковского и Ялуторовского районов Тюменской области, мне довелось попасть летом 1981 г. Тряское бездорожье, которое началось, едва наш грузовик спустился с 50-метровой террасы Тобола, к концу дня вымотало нашу разведочную группу донельзя. И когда вдалеке в лучах заходящего солнца заискрилось среди перелесков большое озеро, мы единодушно высказались за остановку. Палатки пришлось ставить уже в сумерках. Как долго мы задержимся здесь — этого не мог знать никто. Ясность принесли только рассвет. Как зачарованные стояли мы в то утро на берегу, наблюдая, как из рассеивавшегося тумана то тут, то там выступали очертания грандиозных курганов, окружавших озеро и по размерам не уступавших знаменитым



*Р.Исеть — северный рубеж Ингальской долины.*

*Тихие старицы.*

*Здесь и далее фото автора*

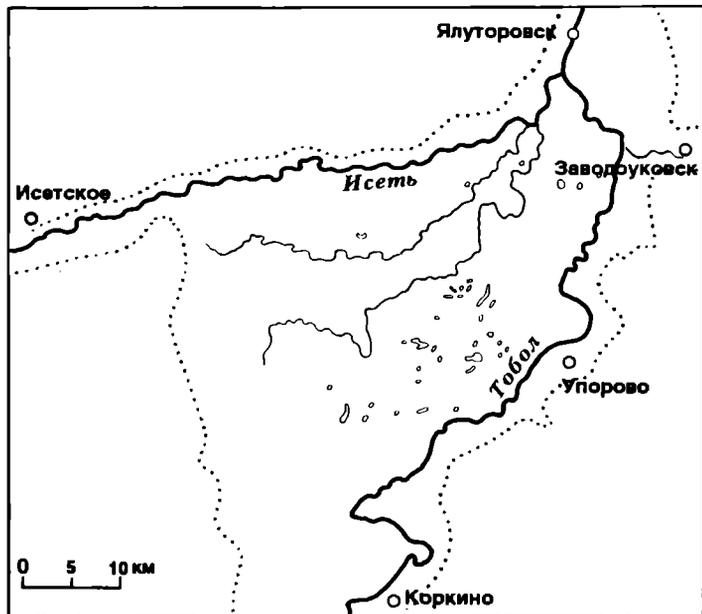




*«Царский» курган саргатской культуры.*

*Рвы саргатских курганов — граница живых и «загробного мира».*





План Ингальской долины. Цетом показана граница долины.

скифским могильным насыпям. Долина царей?! Не помню — было ли это произнесено или эти слова слышались нам тогда в плеске волн, набегавших на прибрежный песок.

В течение двух лет в окрестностях нашего озера было открыто несколько десятков археологических объектов, преимущественно курганных групп, а результаты раскопок Тютринского, Савиновского и других могильников, относящихся к первым векам новой эры, заставили нас совершенно иначе взглянуть на ту страницу истории Притоболья, которая была связана с началом железного века и существовавшей в это время на территории западносибирской лесостепи саргатской культурой.

Изучение этих памятников нарисовало яркую картину расслоения саргатского общества. Малоимущих хоронили с минимальным набором вещей под небольшими курганами. Погребальные комплексы представителей родо-племенной аристократии впечатляющи — над могилами сооружали монументальные земляные пирамиды, достигающие нескольких десятков метров в поперечнике. Захоронения знати, особенно женские, изобиловавшие наборами привозных бус, другими импортными ювелирны-

ми изделиями из драгоценных и полудрагоценных камней, стекла, фаянса и агата, не оставляли сомнений в том, что саргатские племена вели торговлю с государствами Средней Азии, а через них — с Индией и еще более далекими территориями и что саргатскими группами был взят под контроль поток пушнины, бравший свое начало в западносибирской тайге и растекавшийся по многим ответвлениям Великого шелкового пути.

Исследование притобольских могильников саргатской культуры приоткрыло завесу тайны и над одним из самых загадочных эпизодов в истории сибирской археологии, связанным с формированием в начале XVIII столетия Сибирской коллекции Петра I — уникального собрания древних золотых предметов: литых поясных застёжек, исполненных полного драматизма сценами единоборства животных и рельефными изображениями, навеянными эпическими сюжетами, а также серег, украшений конской сбруи и многого другого.

Установлено, что основная часть коллекции — более 200 вещей — поступила в Петербург в 1715—1717 гг. из Тобольска, от первого сибирского губернатора М.П.Гагарина, выкупившего эти предметы у «бугровщиков» — граби-

телей курганов<sup>1</sup>. Однако долгое время оставалось неизвестным, из какого района происходят сокровища. Поэтому возникла гипотеза внесибирской прародины коллекции. Раскопки Тютринского могильника, в курганах которого впервые были обнаружены ювелирные изделия, идентичные тем, что были собраны князем Гагариным, не только положили конец сомнениям в сибирском происхождении древнего золота Петра Великого, но и позволили сделать вывод о том, что основная его часть была извлечена из разграбленных захоронений саргатской культуры.

Несколькими годами позже, очарованные Приисетьем с его изумрудными борками на прибрежной равнине и кражем, встающими за ними речными террасами, мы надолго осели в этих местах, которые отделены от Тобола всего лишь несколькими десятками километров. Огромные курганы и даже целые курганные поля встречаются и здесь, причем наиболее часто на правобережье Исети — в Тоболо-Исетском междуречье. Многим из них местные жители дали когда-то собственные имена, некоторые, например Золотой бугор, бытуют и поныне. Большинство из этих погребальных сооружений также относится к раннему железному веку, но есть среди них и значительно более древние, возведенные еще в эпоху бронзы. К их числу принадлежат Хрипуновские курганы алакульской культуры, относящиеся, по данным радиоуглеродного анализа, к началу II тысячелетия до н.э. и оставленные едва ли не самой северной группой андроновского населения. В этих андроновцах многие ученые не без оснований видят индоиранцев бронзового века — легендарных ариев.

Немало было открыто в Приисетье и разновременных поселений, в том числе хорошо укрепленных городищ на высоких речных террасах, откуда все окрестности видны как на ладони. Сколько раз на протяжении этих лет мы молча стояли у оплывших стен Красно-

горского городка не в силах оторвать взгляда от впечатляющей панорамы, открывающейся с этого места! Здесь, наверху, всегда царят тишь и покой. Змеящиеся старицы Исети, острова основного бора, щебет птиц и шелест листвы — все это осталось внизу. И кажется, скажи слово — и оно разнесется над лугами и перелесками, пролетит над каждой поляной и, рассыпавшись на звуки, растворится в неоглядной дали. Наверное, так же внимательно вглядывались отсюда в окрестности стражи средневековой крепости, а до них — защитники укреплений бронзового века. Какие чувства испытывали они при этом? Гордость при виде тучных стад, пасущихся на заливных лугах? Тревогу при появлении вблизи городища незнакомцев?

А что если спуститься вниз и нам? Но не к Исети, где стоит лагерь экспедиции, а по противоположному склону многокилометрового мыса, вдающегося в прибрежную равнину и уходящего вопреки всякой логике прочь от этой реки, куда-то туда, где в отдалении находится русло Тобола... Впервые осуществить задуманное нам довелось совсем недавно — в самом конце летнего сезона 1994 г.

Несколько дней, проведенных тогда на берегах Большой Ингалы, петляющей по Тоболо-Исетскому междуречью, заставили нас пересмотреть наши прежние представления о том, где надо вести изыскания, и пожалеть, что намеченная вылазка не состоялась раньше. Перед нами расстились остатки обширных древних поселений, планировка многих из которых «читалась» в рельефе настолько отчетливо, что изучать ее можно без проведения раскопок. В других местах, напротив, руины разновременных и разнотипных жилых построек, наземных и углубленных в грунт, в том числе двух- и многокамерных, судя по их очертаниям, так близко примыкали друг к другу, что решить, где кончался один поселок, а где начинался другой, практически невозможно. Не меньше оказалось на пойменных возвышениях и курганов, причем как грандиозных, так и сравнительно небольших, датировку ко-

<sup>1</sup> Матвеев А.В. Древнее золото «60-й параллели» // Природа. 1991. № 9. С.35—41.



*Грива Бузан близ устья Исети. Если ли не каждый из таких останцов в пределах Нигальской долины представляет собой целый комплекс памятников разных эпох.*

*Раскопки энеолитического захоронения Бузан-3.*





*Наконечники стрел и ножевидные пластины (вверху); шлифованные подвески из песчаника и навершие ножа из кремнистого сланца, выполненное в виде головки птицы.*



торых без проведения раскопок определить трудно. Саргатская принадлежность первых сомнений не вызывала. Приступать к составлению планов выявленных объектов в те считанные дни, которые оставались до конца полевого сезона, было бессмысленно. Единственное, что нам оставалось, это щелкать фотоаппаратами, делать отметки на картах и фиксировать данные о расположении памятников на диктофонной ленте. И двигаться дальше, чувствуя, что удача протянула нам свою руку.

Именно в те дни все и стало на свои места. Мы находились в той же самой долине, что и десять с лишним лет назад, но только в другой ее части. Только теперь открылись нам ее истинные размеры: длина около 55 км, а ширина от 20 до 45 км. Стало ясно также, что впадина, на дне которой мы оказались, не что иное, как слившиеся в единое целое долины Тобола и Исети, противоположные берега которых — правый тобольский и левый исетский — служат естественными границами микрорайона. Центральную часть долины почти на всем ее протяжении прорезают русла еще двух рек, точнее исетских проток — Большой и Боровой Ингалы. Обе они тихие, заросшие камышом, совсем непохожие на Тобол и особенно Исеть, которая на редких отмелях с каменистым дном не дает устоять, сбиивает с ног и заставляя, подчиняясь ее капризному характеру, плыть только по течению. По названию этих проток мы и стали называть открытую долину Ингальской, что на языке сибирских татар означает «Камышовая». Не менее четко выражен и третий, юго-западный склон впадины, напоминающей в плане треугольник, обращенный вершиной на северо-восток. Однако вряд ли этот уступ можно рассматривать как речную террасу, поскольку он ориентирован почти перпендикулярно течению всех рек Ингальской долины. Что это — край древнего залива, где некогда стояли подпруженные ледником воды рек Западно-Сибирской равнины, или нечто иное? Впрочем, тогда, в разведке, этот вопрос был для нас отнюдь не главным. Мы несколько не сомневались, что со вре-

менем с помощью геологов найдем на него ответ. Важнее было другое: перед нами лежало огромное богатство, обширный и имеющий четкие естественные границы археологический микрорайон, насыщенный памятниками самых разных эпох, причем такой сохранности, о которой в наши дни археологам остается только мечтать. Работы в нем хватит не одному поколению представителей нашей профессии. Но сумеем ли мы им правильно распорядиться?

Тюменская область дала отечественной, да и мировой науке уже не один крупный комплекс археологических объектов. Кто из специалистов не слышал об Андреевском озере в пригороде Тюмени или о Барсовой Горе в окрестностях Сургута? При их исследовании получено немало новой информации о древнем и средневековом прошлом населения Западной Сибири. Но судьба этих микрорайонов, увы, печальна. Ни один из них своевременно не был объявлен заповедной территорией, а изучение их на протяжении многих лет носило спасательный характер. Обернулось это трагедией. Оба они перестали существовать, в результате чего ущерб нанесен интересам как науки, так и области.

Не менее трагична и судьба археологического наследия, сосредоточенного на юге Тюменской области в целом. По нашим данным, к началу 90-х годов из тысячи памятников, открытых на этой территории, в удовлетворительной сохранности находилось только 406 объектов, или немногим более 40%. В лесостепной зоне количество памятников удовлетворительной сохранности было еще меньшим и в отдельных районах опускалось до 15—11 и даже 3.4%. Иными словами, в них уже сложилась такая ситуация, когда в ближайшие 5—10 лет все имеющиеся здесь памятники этого рода могут быть уничтожены. Не постигнет ли эта участь и Ингальскую долину? Или, может быть, нам дан последний шанс, чтобы доказать свою зрелость?

Готовясь к полевому 1995 г., когда в соответствии с соглашением, заклю-

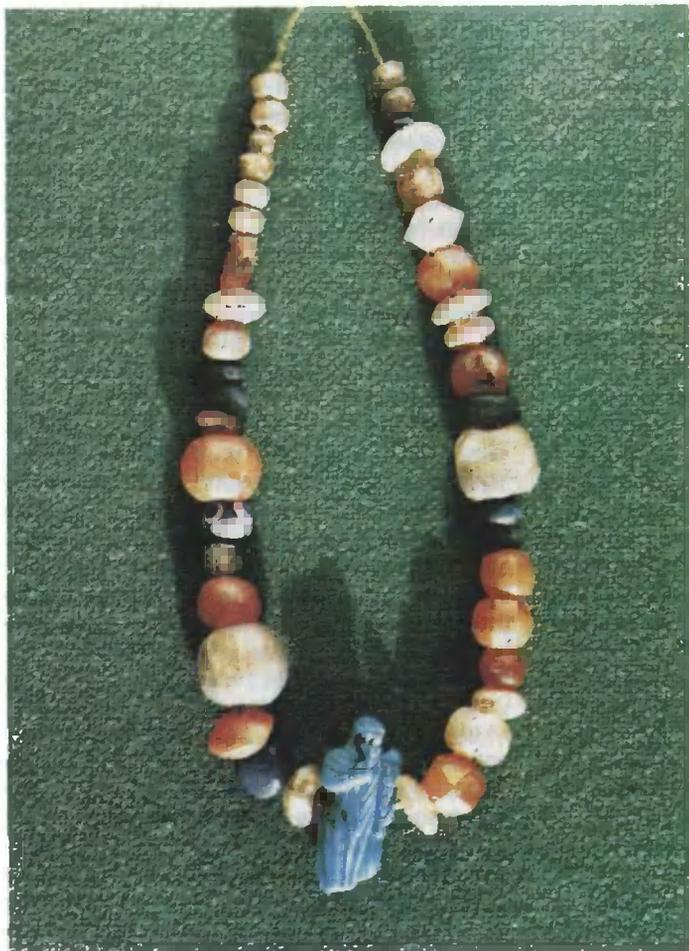
ценным Российской Академией наук, Сибирским отделением РАН и администрацией Тюменской области, должно было начаться целенаправленное изучение Ингальской долины, мы прекрасно понимали, что беремся не только за очень заманчивую, но и чрезвычайно трудную задачу. Материалы этого микрорайона, уникального и по размерам, и по насыщенности памятниками самых разных эпох, не просто открывали возможность проследить основные этапы освоения человеком до- и протоисторической эпох территории лесного Зауралья, но и ставили на повестку дня еще более сложные вопросы: о роли ландшафтов Ингальской долины в формировании систем расселения на ее площади представителей разных эпох и культур, о механизмах взаимоотношения природной среды и древнего человека на разных этапах освоения долины, — а значит, требовали комплексного подхода. Поэтому в состав сформированной экспедиции вошли не только археологи, но и палеогеографы, ботаники, топографы, почвовед, антрополог. Основной контингент ее участников — студенты, но не только, как обычно, историки, но и те, кто учится на эколого-географическом факультете Тюменского государственного университета.

Наш лагерь, насчитывающий более 70 человек, стоит прямо на берегу Тобола. С наступлением темноты, когда в палатках зажигаются электрические фонарики, огромная поляна преобразуется. Подсвеченные изнутри разноцветные купола — красные, зеленые, голубые — мерцают в ночи, как огни фантастического городка, застроенного причудливыми домиками. Утром он опустеет. Разведочные группы с нехитрым походным снаряжением будут заброшены в новые пункты, откуда предстоит двигаться по намеченному маршруту пешком, осматривая местность и останавливаясь лишь для составления планов обнаруженных памятников и на ночевки. Два-три дневных перехода, — и они должны выйти в условленные точки, откуда их доставят в лагерь для короткого отдыха и обработки собранных материалов. Каждый такой маршрут до-

бавляет в реестр выявленных памятников по несколько новых объектов, иногда — до десятка и более, а общее количество памятников, открытых в долине и на ее границах, уже перевалило за три сотни. И все равно работа идет не так быстро, как хотелось бы. Очень много времени уходит на съемку планов памятников, тем более что разведочные группы обычно ведут ее с помощью геодезических инструментов.

Группа топографов уже почти месяц работает в Медном борке, на своего рода археологическом микрокомплексе, хотя маленьким его никак не назовешь. Здесь, на берегу угрюмой и темной старицы Тобола, перегороженной поваленными стволами деревьев, обнаружены остатки огромного саргатского поселка, который так и хочется назвать городом. Его площадь около 155 тыс. м<sup>2</sup>. Окинуть ее одним взглядом невозможно — там, где стояли когда-то дома, теперь шумит лес. Густо поросла им и территория надежно укрепленной цитадели, окруженной рвом, который и сейчас скрывает взрослого человека. Возможно, его подновляли в более поздний период, когда за ним укрывалась средневековая община. Но, как свидетельствуют полученные материалы, она не строила стационарных, углубленных в землю жилищ. А их на территории селища, примыкающего к укреплениям, насчитали около 450, и все они существовали примерно в одно и то же время! Возникновение подобных населенных пунктов (а обследованный нами едва ли не самый крупный!) лишний раз свидетельствует о том, что в саргатском обществе шло активное формирование городов в полном смысле этого слова.

Другой памятник этой культуры — только погребальный — изучает отряд у с. Нижний Ингал. Высота этого недавно распаханного кургана еще несколько лет назад достигала 3 м, а диаметр — 40 м. В его огромной и почти полностью разграбленной центральной могиле сохранились тончайшие золотые нити — остатки богато вышитой одежды, быть может, даже из китайского шелка. Что уцелело в двух других захоронениях, находящихся рядом с исследованным? Вполне возможно, что об этом мы узнаем уже завтра.



*Ожерелье из стеклянных, сердаликовых и агатовых бусинок с амулетом — фигуркой Гитократа, изготовленной из египетского фаянса. Тутринский могильник, II—III вв. н.э.*

→  
*Каменные изделия неолитического периода из археологических памятников Ингальской долины.*

Обилие и богатство саргатских памятников Ингальской долины наводит на мысль, что ее территория на рубеже новой эры могла являться зоной обитания и районом захоронения членов одного или нескольких могущественных, возможно, даже «царских» родов этого племенного объединения. Однако неверно было бы думать, что памятники других эпох, открытые нашей экспедицией, менее интересны. На о.Щетково и Боровой Ингале обнаружены остатки селищ бронзового века, оставленных племенами андроновской культурной общности; десятками и сотнями исчисляются изготовленные из кремня, яшмы и сланца орудия, собранные на поселениях, относящихся к новокаменному веку и энеолиту.

При исследовании многих остан-

ков в исетской пойме удастся обнаружить памятники, никак не выраженные в современном рельефе. Складывается впечатление, что эти поросшие сосной и березой гривы, хорошо заметные издали, покрыты мощным культурным слоем по всей их площади, от самого основания (где нередко залегает неолитическая керамика VI—V тысячелетий до н.э.) до самой вершины. Нет никаких сомнений, что они обжигались на протяжении многих эпох и что при детальном исследовании дадут надежные стратиграфические свидетельства хронологии древних культур Ингальской долины.

Не менее важно, что, судя по полученным данным, здесь вполне могли сохраниться не только остатки



поселков, но и объекты совершенно иного рода, которых за пределами долины мы почти не встречаем и которые способны пролить свет на недостаточно изученные стороны жизни древнего населения Зауралья, выявить новые грани хорошо знакомых археологических культур. На это, в частности, указывают результаты работ, проведенных в пункте Остров. Раскоп, заложенный на вершине этой гривы, выявил огромное количество ям различных размеров, почти не содержащих находок. Ясно, что это место не использовалось для жилья. В двух углублениях, сопоставимых по величине и форме с могильными ямами, сохранились кости людей: в одной — череп ребенка 4—5 лет, в другой — уложенные в анатомическом порядке остатки отрубленной головы ребенка примерно тремя годами старше, а также нижняя челюсть, бедренные и берцовые кости молодой женщины. Что это — захоронения или следы каких-то обрядов, включавших человеческие жертвоприношения?

Неподалеку от ям — сложенные в

кучу сланцевые орудия, огромные (каждое больше ладони) и довольно тяжелые. Среди них — массивный наконечник копья и несколько рубящих и режущих инструментов аморфных очертаний. Их изготовили всего в нескольких метрах отсюда, где обнаружена площадка, усеянная грубыми сланцевыми отщепами и более мелкими чешуйками камня. Очевидно, что найденные орудия использовались не в быту, а были сделаны специально для какой-то ритуальной церемонии, совершенной на холме.

Еще один останец, который исследуется экспедицией, находится совсем рядом с местом слияния Тобола и Исети и именуется Бузан. В ходе предварительного обследования здесь выявлено только несколько курганов раннего железного века и остатки небольшого средневекового поселка. Однако интуиция подсказывает, что этим перечень древних памятников, расположенных в урочище, отнюдь не исчерпывается. И первые же шурфы, заложенные на тех участках, где никаких внешних признаков археологических объектов не отмечено, подтверждают наши догадки. Уже через

несколько дней становится ясно, что фактически вся площадь Бузана, составляющая около 5,5 га, покрыта культурными слоями разновременных памятников.

Но более всего нас привлекает центральная, наиболее возвышенная часть гривы, где в разведочной траншее на фоне белесого материкового песка показались большие темные пятна, напоминающие своими очертаниями могилы.

Траншея в срочном порядке «разворачивается» в небольшой раскоп. И вот в его границах уже фиксируются несколько рядов углублений, заполненных темным гумусированным грунтом. Лопаты отброшены прочь. Теперь в ход идут совки и кисточки. Еще несколько часов работы — и в придонной части нескольких ям проступает слой охры, «краски мертвых», которая во многих древних обществах символизировала кровь или возрождающуюся силу огня.

А вот и первые находки! Скальпель задает за что-то твердое. Сметаем пыль — и перед нами миниатюрный наконечник стрелы, изготовленный из тонкой ножевидной пластины, а чуть ниже — остатки черепа погребенного. К концу дня могила расчищена. Теперь мы уже не сомневаемся, что Бузан подарил нам богатый некрополь, относящийся, судя по всему, к периоду энеолита. Обнаруженные в могильной яме сосновые угольки будут направлены в радиоуглеродную лабораторию, и, возможно, уже через несколько месяцев нам сообщат довольно точную дату обнаруженного памятника.

А пока мы запаковываем находки. Среди них — около двух десятков прекрасно отшлифованных и аккуратно просверленных каплевидных каменных подвесок, видимо, входивших в состав нагрудного украшения, а также редкий по изяществу исполнения нож из черного кремнистого сланца с навершием, оформленным в виде головки хищной птицы. Целый комплекс предметов расчищен и неподалеку от захоронения. В него входили семь наконечников стрел, более 250 ножевидных пластин и орнаментированное по всему периметру круглое каменное изделие с отверстием

в центре. Может быть, именно с его помощью доводил до совершенства древки стрел тот мастер, погребение которого мы обнаружили?

Экспедиция завершена. Но Ингальская долина — я в этом уверен — открыла ученым еще не все свои тайны и укромные уголки. Ответы на некоторые вопросы мы получим, когда будут готовы анализы подкуранных почв, а также данные о возрасте болотных отложений и погребенных гумусовых горизонтов в крутых берегах Тобола и Исети.

К неисследованным районам долины отправятся отряды нашей экспедиции в следующем году. Но уже ясно, что на территории Тюменской области открыта территория выдающегося историко-культурного значения. Комплекс Тоболо-Исетского междуречья отличается не только огромными размерами, значительно превосходящими площадь других микрорайонов, и уникальной насыщенностью памятниками разных эпох. Большинство сосредоточенных здесь археологических объектов прекрасно сохранилось. Это связано с тем, что междуречье почти не осваивалось.

Однако одним лишь этим обстоятельством ценность Ингальской долины отнюдь не исчерпывается. Начаты в ней эколого-флористические исследования позволяют рассматривать этот микрорайон и как уникальный природный комплекс, в состав которого входят редкие виды растительности, почти не затронутые антропогенным воздействием лесостепные и подтаежные ландшафты, сохранение которых представляется весьма важным.

Все сказанное открывает выгодные перспективы создания в границах Ингальской долины ландшафтно-археологического парка, задачами которого станет не только охрана и изучение памятников до- и прбтоисторических культур, но и сохранение ее природного потенциала. Более того, этот уникальный объект включен в программу, нацеленную на развитие науки, образования и культуры Тюменской области, в орбиту отечественного и международного туризма.

# Разгадка «оловянной чумы»

А. Д. Стыркас



*Аркадий Дмитриевич Стыркас, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института физики твердого тела РАН (Черноголовка). Автор более 70 статей и 45 изобретений. Область интересов — физическая и неорганическая химия, электрохимия полупроводников, чистых материалов, порошковых металлов, источников тока. Совместно с И.Л. Аптекарем ему удалось раскрыть тайну «оловянной чумы» — аллотропического превращения белого олова в серое, выяснить механизмы различных проявлений «памяти» олова и роль в этих процессах атмосферной воды и кислорода.*

**Ч**ТО мы знаем про олово, известное человеку с глубокой древности? Чем оно замечательно? Да, олово оказалось в центре таблицы Менделеева, и в любом направлении от него находится практически одинаковое количество элементов. Атомный номер Sn выражается круглым числом 50. Знаем еще, что оно умеет болеть «чумой»...

Чума! Слово, от которого веет ужасом. Острое инфекционное заболевание, обычно несущее гибель. Но ведь болеют живые существа, а не металлы. Тем не менее много других слов, относящихся к живым существам, и особенно к человеку, применимо и к олову, например: «крик», «заражение», «болезнь», «порча», «память», «узнавание».

## ЛЕГЕНДЫ, МИФЫ И ИСТОРИЧЕСКИЕ ФАКТЫ

Олово — один из немногих металлов, о котором было известно человеку по крайней мере за пять тысячелетий до нашей эры. Сплав его с медью — бронза — первый из полученных людьми и используемых ими на практике. Целая эра цивилизации названа в честь этого сплава «бронзовым веком». Но даже когда ее сменила эра «железного века», бронзу и олово человечество не сдало в утиль. Поэты всех времен, описывая величие, славу и роскошь, посвящали этим металлам незабываемые строки. Так, у А.С. Пушкина:

Фарфор и бронза на столе.

(«Евгений Онегин»)

Или:

Кумир с простертою рукою

Сидел на бронзовом коне.

(«Медный всадник»)

Та же высокая нота в стихах Сергея Есенина:

И в бронзе выкованной славы  
Трясешь ты гордой головой.

И далее:

Но, обреченный на гоненье,  
Еще я долго буду петь...  
Чтоб и мое степное пенье  
Сумело бронзой прозвенеть.

(«Пушкину»)

Алхимики, чьи занятия наукой непременно были сопряжены с магией, астрологией и прочими ложными учениями (в изобилии вновь появившимися на нашем небосклоне в смутные времена реформ!), были уверены, что «семь металлов создал свет по числу семи планет». Причем в «табели о рангах» олову соответствовала планета Юпитер. Честь немалая, учитывая, что это самая большая планета Солнечной системы.

Как человечество со времен своей колыбели, так и каждый из нас «с молодых ногтей» имеет непосредственную связь с этим скромным металлом, порой забывая о нем, подобно тому как мы забывает о сердце и легких, пока те здоровы. Всем нам с детства знакома сказка Андерсена о стойком оловянном солдатике на одной ноге (намек на всегдашний дефицит олова?). Мы слышали рассказы, похожие на легенды, и легенды, похожие на быль, о «болезни» этого элемента, приводящей порой к комическим, а порой и к тяжелым трагическим последствиям. Вот некоторые из них.

Во время бегства французов из Москвы зимой 1812 г. штаны буквально падали с завоевателей, и не только потому, что цивилизованные западные головорезы отощали от «негостеприимства диких русских», а еще и по той причине, что оловянные пуговицы на морозе рассыпались в прах и штанам просто не на чем было держаться...

Оловянные органые трубы в одну из зим неожиданно разрушились, между тем, как прежние, даже более морозные, зимы они благополучно пережили...

У военных интендантов вместо

оловянных чайников в складах была обнаружена серая пыль. Но на этот раз не интенданты были виновниками исчезновения чайников: чайники на морозе также неожиданно «заболели» «оловянной чумой»...

Когда зимой в Сибирь отправилась экспедиция, она вдруг оказалась без посуды в жестокие морозы. Посуда была оловянной. Однако катастрофы не случилось, потому что сметливые и терпеливые русские умельцы вырезали миски и ложки из дерева, которого в Сибири много.

Вот самая трагичная история. Английская полярная экспедиция во главе с Робертом Скоттом 18 января 1912 г. достигла Южного полюса. Но оказалось, что за 33 дня до них там побывал Руаль Амундсен на собачьих упряжках. Героическая команда Скотта, тащившая сани на себе, погибла, не дойдя совсем немного до своих баз. И одна из причин гибели экспедиции — «оловянная чума». Баки с запасами продовольствия и с горючим, запаянные оловом, из-за разрушения спаев потекли, и гибели экспедиции от голода и холода посодействовала «болезнь» олова.

Что в рассказах и легендах было, что ложь, судить трудно. Только дыма без огня не бывает. А народная наблюдательность известна. Однако и строгие научные исследования «заболевания» олова «чумой» давно известны. О фазовом переходе белого олова ( $\beta$ -Sn) в серое ( $\alpha$ -Sn), так метко названном в 1911 г. Г. Коэном «оловянной чумой», накопилось много фактов и наблюдений. Начало научного изучения этого фазового перехода было положено в 1870 г. работами петербургского ученого Ю. Фрицше.

Установлено, что это есть процесс аллотропического превращения белого олова в серое со структурой типа алмаза. Много ценных наблюдений и мыслей об этом процессе высказано Д. И. Менделеевым в его «Основах химии»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Менделеев Д. И. Основы химии. М.; Л. 1934. Т. 2. С. 707.

Рис. 1. Тетрагональная структура белого олова ( $\beta$ -Sn). Параметры решетки:  $a = 5.83 \text{ \AA}$ ,  $c = 0.545a$ . Структура  $\beta$ -Sn — это как бы деформированная сжатием структура  $\alpha$ -Sn. Каждый атом окружен четырьмя ближайшими атомами на расстоянии  $3.03 \text{ \AA}$  и двумя — на расстоянии  $3.18 \text{ \AA}$ ; координационное число (КЧ) =  $(4+2)$ . а — элементарная ячейка, б — проекция на плоскость (001), в — координационный полиэдр.

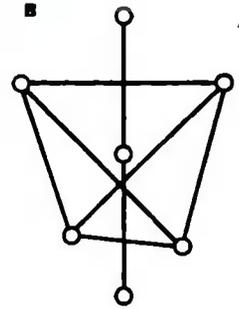
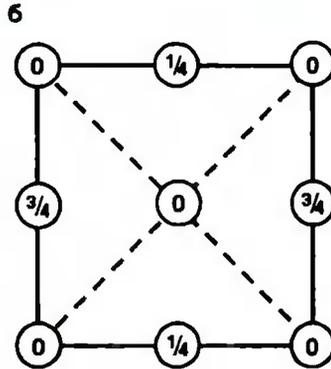
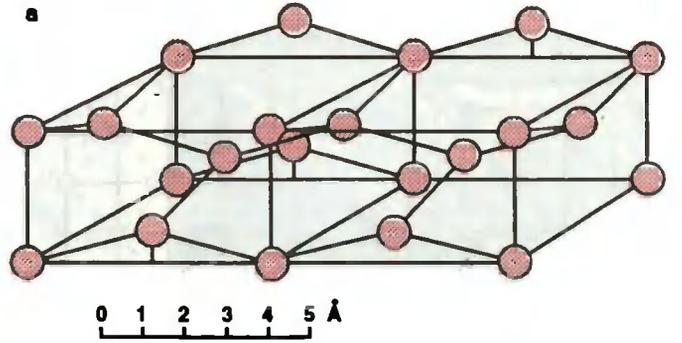
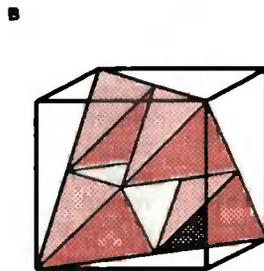
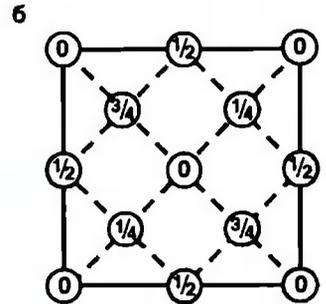
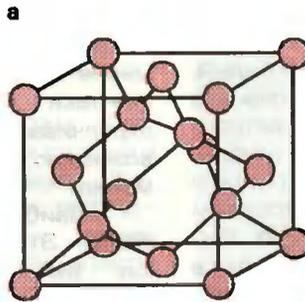


Рис. 2. Структура серого олова (структура алмаза): а — элементарная кубическая ячейка с параметром решетки  $a$ ; б — проекция на плоскость (001); в — выделенные тетраэдры, по вершинам и в центре которых находятся атомы Sn; КЧ = 4; г — плоскость спайности (111), параллельная граням тетраэдра. Постоянная решетки  $a = 6.46 \text{ \AA}$ . Минимальное расстояние между центрами соседних атомов  $\alpha$ -Sn  $d = 0.433 a$ . Решетка образуется взаимным проникновением двух кубических гранецентрированных решеток по телесной диагонали на  $1/4$  ее длины.



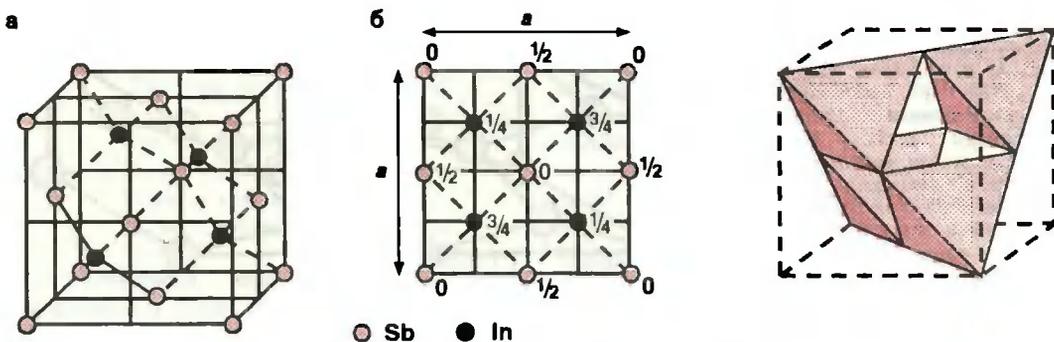


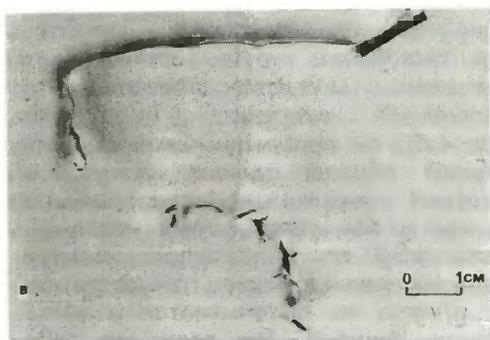
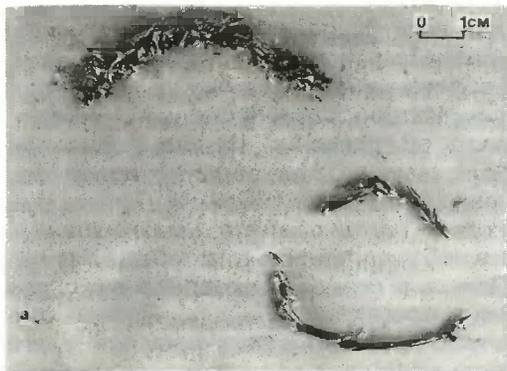
Рис.3. Структура цинковой обманки  $ZnS$  (сфалерит), в которой кристаллизуются  $InSb$ ,  $CdTe$ ,  $AgI$ . Аналог решетки алмаза, где в одну гранцентрированную решетку из атомов  $S$  (или  $Sb$ ,  $Te$ ,  $I$ ) помещена идентичная решетка из атомов  $Zn$  (или  $In$ ,  $Cd$ ,  $Ag$ ). Это как бы плотноупакованная кубическая решетка из атомов сурьмы, в половине тетраэдрических пустот которой находятся атомы индия. Минимальное расстояние между двумя соседними атомами (в отличие от  $\alpha$ - $Sn$  это атомы разных элементов) так же, как и в алмазной решетке, равно  $a$  и составляет  $1/4$  длины телесной диагонали.  $a$  — элементарная ячейка;  $b$  — проекция на плоскость  $(001)$ ;  $c$  — размещение тетраэдров антимонида индия —  $InSb$  (в вершинах —  $Sb$ , в центре —  $In$ ).

Белое олово — серебристо-белый, блестящий металл со специфической тетрагональной структурой и электронным  $s^2p^2$ -состоянием —  $\beta$ -фазой (рис.1). Серое олово — ковалентный кристалл со структурой алмаза и электронным  $sp^3$ -состоянием —  $\alpha$ -фазой (рис.2). Фазовые переходы олова из белого в серое и обратно сопровождаются перестройкой электронной структуры и сильным (26.6%) объемным эффектом. Белое олово можно переохладить до гелиевых температур (температура фазового  $\alpha$ — $\beta$ -равновесия около  $+13.2^\circ C$ !). Интересно, что с подобными особенностями (объемным эффектом, изменением характера химической связи) связана также феноменальная устойчивость алмаза — метастабильной в нормальных условиях модификации углерода. Углерод, как и олово, элемент IV группы таблицы Менделеева. Олово, подобно углероду, имеет несколько аллотропических модификаций:  $\alpha$ ,  $\beta$  и, возможно,  $\gamma$ .

Много работ посвящено существованию «ромбической» структуры  $\gamma$ -фазы олова. Одни полагают, что при затвердевании расплава олова ( $T_{пл} = 230.5^\circ C$ ) оно сначала образует  $\gamma$ -фазу, которая лишь при температуре ниже  $161^\circ C$  переходит в обычную  $\beta$ -фазу. Доказательством существования  $\gamma$ -фазы служит высокая хрупкость металла, который при этом переходе легко истолочь в порошок, что наблюдал каждый, занимавшийся пайкой. Другие считают, что существование  $\gamma$ -фазы обусловлено примесями (например, индия), а олово высокой степени чистоты этой фазы не имеет. Тем не менее образцы высокочистого олова все-таки проходят через состояние охрупчивания, так что вопрос о  $\gamma$ -фазе, возможно, закрывать пока преждевременно.

Наиболее известна  $\beta$ -фаза олова. Этот серебристо-белый металл как бы «кричит» от боли, когда изгибают оловянную палочку. «Крик» происходит от «разрыва частиц олова по площади кристаллического скольжения», как писал Менделеев, или от трения кристаллитов, как говорят теперь.

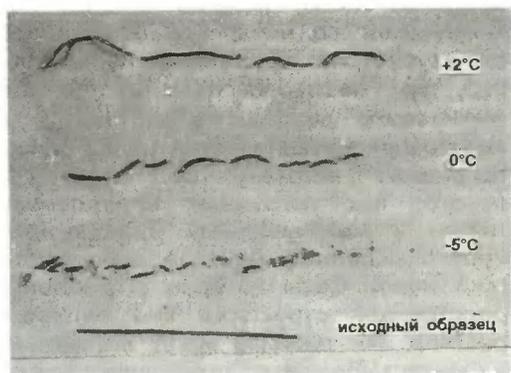
Особенно интересна  $\alpha$ -фаза полупроводникового олова (так называемое серое олово), переход в которую удивительно метко назван «оловянной чумой». Уж здесь нет недостатка в терминах и определениях, относящихся ко всему живому! А термины живут веками, если кратко и точно описывают явление, даже во многом непонятное.



*Рис.4. Образцы после превращения: а — радиус кривизны определяется толщиной исходного образца; б — монокристаллический ус сохраняет целостность, превращаясь в спираль; в — тонкий образец олова, полученный быстрой закалкой, сохраняет форму исходного, тогда как тот же образец, предварительно отожженный, закручивается и рассыпается.*

#### КАК «ЗАРАЖАЕТСЯ» ОЛОВО

Когда автор этих строк был студентом химфака Ленинградского университета, он слушал лекции профессора Н.А.Горюновой, внесшей огромный вклад в понимание химии полупроводников и создавшей классы новых полупроводниковых соединений с заранее заданными свойствами. Одной из ключевых идей Нины Александровны была следующая: известные полупроводники кремний (Si) и германий (Ge) — элементы IV группы таблицы Менделеева — дают «семейство» изоэлектронных соединений, где в среднем на каждый атом приходится по четыре электрона и которые поэтому тоже кристаллизуются в сходной с алмазом структуре типа цинковой обманки (двойные и еще более сложные — тройные, четверные и т.д.). В соответствии с этим олово, близкий аналог Si и Ge, в кубической структуре алмаза также должно быть полупро-



*Рис.5. Обломки образцов олова, образовавшиеся вследствие фазового перехода при разных температурах. Протяженность участков до «пробоя» зависит от температуры.*

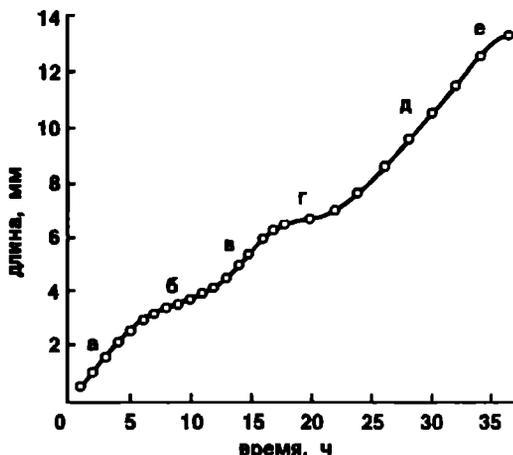


Рис. 6. Зависимость длины «заражения» образца олова от времени при  $-9^{\circ}\text{C}$ . (Стыркас А.Д. // *Высокочистые вещества*. 1987. № 1. С.144; Там же. 1989. № 2. С.159.)

водником, что впоследствии и подтвердилось.

Нина Александровна<sup>2</sup> пользовалась для превращения  $\beta$ -олова в  $\alpha$  затравками из  $\text{InSb}$  и  $\text{CdTe}$ . Эти вещества имеют сходный с  $\alpha$ -Sn тип химической связи и алмазоподобную структуру (рис. 3), причем параметры структур почти не отличаются от параметров решетки  $\alpha$ -Sn! Когда в «здоровое» металлическое белое олово погружают затравку со структурой серого, как погружают кристалл-затравку в пересыщенный раствор или переохлажденный расплав, начинается рост новой фазы на гранях кристалла родственной структуры. Без затравки раствор или расплав могут оставаться в метастабильном термодинамически невыгодном состоянии до тех пор, пока не возникнет первый центр кристаллизации, зародыш. Так же и белое олово ниже точки перехода в  $\alpha$ -фазу устойчиво в отсутствие центров кристаллизации. Стоит лишь появиться единственному центру, и процесс перехода идет неудержимо, кристалли-

зуя весь раствор или расплав либо превращая все изделия из олова в бесформенный порошок.

Интересна следующая особенность превращения. Казалось, было бы естественно, если образец после фазового перехода сохранял примерную форму исходного, т.е. рассыпался с равной вероятностью в обе стороны. Однако в процессе превращения олово закручивается в спираль! Причем радиус кривизны получившейся дуги определяется диаметром (толщиной) исходного образца (рис.4,а). Под действием силы тяжести порошок «процедируется» на плоскость, становясь как бы частью круга, однако, если «заразить» монокристаллический ус, способный сохранить целостность (рис.4,б), он превращается в спираль. Тонкий образец олова, полученный быстрой закалкой, также остается целым и сохраняет форму исходного, даже если его специально изогнуть. Если же такой образец предварительно отжечь, он закручивается и рассыпается (рис.4,в). Во всех описанных случаях «заражение» производилось с одного края длинного образца.

И еще одна интересная особенность процесса: если превращение вести при малых скоростях, то дуги частично сохраняются целыми, причем переломы в них происходят на соизмеримых расстояниях (рис.5). Исследования причин этой особенности позволили использовать ее на практике для оценки степени чистоты олова.

Рассмотрим, как при превращении олова ведут себя примеси. Ведь в этом процессе металл преобразуется в полупроводник, что обусловлено переходом атомов олова из состояний  $s^2p^2$  в  $sp^3$ . Примесные атомы, имеющие иное электронное строение, при таком принципиальном изменении электронной структуры основы будут испытывать существенное воздействие. Например, при зонной очистке полупроводников распределение примесей между фазами кристалл—расплав особенно неоднородно: здесь как раз и происходят изменения характера химической связи! Кристаллизация кова-

<sup>2</sup> Горюнова Н.А. // Докл. АН СССР. 1950. Т.75. С.51—54.

лентного вещества из металлического расплава препятствует встраиванию примесей в ковалентную решетку, и они оттесняются фронтом кристаллизации в расплав.

В случае фазового  $\beta$ — $\alpha$ -перехода олова процесс аналогичен, хотя и происходит исключительно в твердой фазе. Нами показано, что, как правило, скорость превращения по всей длине образца постоянна. Но случаются и «сбои», которые на многих экспериментальных кривых ярко выражены. Они имеют общее обязательное свойство: постоянная скорость начального участка «а» (рис.6) может со временем понижаться, линейная часть переходит в криволинейную «б», но отклонения всегда направлены в сторону уменьшения скорости и никогда не приводят к ее увеличению. Бывает, что скорость перехода вновь повышается до начальной величины, но никогда не превышает ее. Процесс как бы встречает на пути препятствия, они все возрастают, пока не происходит «пробой», после чего процесс выходит на режим, свойственный исходному материалу и условиям. Как следует из рис.6, линейные участки «в» и «д» характеризуются тем же наклоном, что и «а». Появление новых участков с пониженной скоростью («г» и «е») в среднем происходит примерно на таком же удалении от места возврата, как и предыдущие понижения: участки «а», «в» и «д» хотя и не одинаковы, но близки по длине. При возврате к исходной скорости на образце возникает излом или трещина. Как правило, вблизи точек «пробоя» образец ломается (см. рис.5).

Протяженность участков до «пробоя» зависит от температуры. Чем выше температура, тем длиннее участок (см. рис.5). Подобно тому, как при зонной очистке «родственная» расплаву примесь оттесняется в расплав тем лучше, чем сильнее при кристаллизации изменяется характер химической связи в основном веществе, при превращении олова примеси «металлического» характера испытывают трудности вхождения в ковалентную струк-

туру  $\alpha$ -фазы и оттесняются границей перехода, обогащая приграничный слой. Накопление примесей замедляет процесс. Может случиться, что «заражение» обойдет или прорвет участок с накопленными примесями, тогда скорость процесса вновь будет определяться исходной концентрацией примесей. Анализ пробы, взятой вблизи места «пробоя» на содержание примесей, дает концентрацию примесей более высокую, чем в исходном олове.

В этих наших опытах, как и у Горюновой, затравку в олово вдавливали. И как будто нет никаких загадок, все ясно, понятно. Кроме маленькой заковыки. Когда Нина Александровна, вдавливая затравку, обеспечивала атомный контакт, казалось бы, для олова было естественно перейти в новую фазу. Но никто французским солдатам в пуговицы, равно как в чайники на интендантских складах и в баки у Скотта, ни антимонида индия, ни другой изоморфной затравки не вдавливал! Почему же там происходил переход? Допустим, у какого-то чайника случайно образовался такой аналог антимонида. Но почему же вслед за ним дружно «умирают» все остальные чайники? Или органические трубы, которые многие годы даже более сильные морозы благополучно переносили, неожиданно, как по команде, одновременно «заболевают» и гибнут. Стоит лишь «захворать» одному, «заражаются» все оловянные изделия! Явная аналогия с инфекцией. Могут сказать: инфекция ветерком переносится с больного изделия на здоровое. Но ветерок пылинку-затравку не вдавит в здоровое тело, не создаст атомного контакта, тем более что на поверхности металла всегда существует защитная оксидная пленка. Вот какие сомнения возникли у нас с Ильей Львовичем Аптекарем, интереснейшим человеком, когда мы долгие часы пытались найти разгадку этого интересного явления. Так и не найдя ее умозрительно, мы приступили к экспериментам.

Опыты с «заражением» довольно длительны, а мы, кроме того, все много-

кратно перепроверяли, пока не становилось очевидно, что похожее на чудо загадочное явление все же происходит, несмотря на нашу неспособность хоть как-то его объяснить и втиснуть в прокрустово ложе нашего миропонимания! Опыты продолжались более 10 лет. Поскольку все мучившие нас вопросы сегодня кажутся ясными, а новые пока не возникли, мы сочли, что достигли некоего уровня понимания.

Как известно, миновать стадию зародышеобразования можно с помощью затравок — инородных тел, резко облегчающих образование новой фазы на ранних стадиях превращения. Чтобы кристалл рос на затравке, необходим молекулярный контакт. Для жидкостей он легко устанавливается вследствие смачивания, обеспечивающего рост на затравке из раствора или расплава. Добиться молекулярного контакта между двумя кристаллами значительно труднее. Это достигается, например, втиранием, вкалыванием, как это делала Горюнова. Однако, оказывается, фазовый  $\beta$ - $\alpha$ -переход облегчается и при поверхностном контакте — простом соприкосновении затравки и белого олова. Чтобы не мучиться неразрешимыми загадками, принимают, что и здесь есть молекулярный контакт. Этот стереотип прочно вошел в сознание металлослов<sup>3</sup>, хотя не выдерживает ни простейшего анализа, ни экспериментальной проверки.

Упускается из виду, что белое олово покрыто тонкой прочной пленкой диоксида, предохраняющей его от дальнейшего окисления. Эта пленка даже при наличии в ней пор и трещин препятствует молекулярному контакту олова с соприкасающейся с его поверхностью затравкой. Об этом говорит и многовековой опыт человечества: для «заражения» олова «чумой» его непосредственный контакт с затравкой не обязателен. Наши прямые опыты были направлены на выяснение этого факта.

Серое олово — рыхлый, непроч-

ный порошок, при работе с которым нет уверенности, что какой-то микрокусочек не попал на исследуемый образец белого олова. Антимонид индия (InSb) — прочный кристалл, его легко отполировать. На обработанную поверхность InSb фотолитографически наносили рисунок с органической пленкой толщиной более микрона и затем накладывали образец полированного олова. Ясно, что такой контакт не является молекулярным. Однако с поразительной настойчивостью все образцы в таких «сэндвичах» неизменно заражались примерно через месяц (от 23 до 33 дней). Образцы со вкалыванием затравки «заболевали» при истечении полутора-двух часов, при простом соприкосновении — трех-шести дней. Контрольные образцы при той же температуре без затравки не «заражались» в течение двух лет, после чего наблюдения за ними прекращались. Вероятность их самозаражения, очевидно, такая же, как и всех известных в истории оловянных объектов. Итак, сэндвичи, сложенные из полированных пластин олова и антимонида индия, разделенные органической пленкой (вне зависимости от того, была ли она нанесена на олово или на InSb, чтобы исключить возможность действия электричного эффекта) или даже медной металлической фольгой с отверстиями, показали, что для «заражения» олова «чумой» непосредственный контакт не обязателен, о чем в свое время было вскользь упомянуто в статье<sup>4</sup>, посвященной выращиванию монокристаллов серого олова.

Такой перенос информации на расстояния, значительно превышающие межмолекулярные, беспрецедентен. Мы никак не могли объяснить феномен и лепетали что-то невразумительное о неких «кластерах» (как часто при непонимании сути ищут спасения в подобных звучных высокоученых, но пустых и бессмысленных словах!) и вызывали у скептиков, не нашедших

<sup>3</sup> См., например: Быховский А.И. // Укр. физ. журн. 1963. Т.8. № 6. С.609—623.

<sup>4</sup> Kuo K., Burgers W.G. // Proc. Koninkl. Nederl. Akad. Wetensch. Amsterdam, 1956. V.59B. № 4. P.288—297.

изъяна в методике эксперимента, лишь желчные слова о телепатии.

Однако все обошлось без мистики и получило естественное объяснение, когда мы учли воздействие окружающей среды. Специальные опыты показали, что причиной «заражения» на расстоянии могут быть присутствующие в атмосфере пары воды. Пластины белого олова и антимонида индия, обработанные спиртом для удаления с поверхности адсорбированных паров из атмосферы, складывали вместе и закрепляли зажимом. 25 таких сэндвичей помещали в ампулы, которые запаивали, предварительно откачав воздух. Еще по 25 таких сэндвичей загружали в ампулы со спиртом и в эксикатор с сухим воздухом. Затем все 75 испытуемых образцов и 5 контрольных ставили в холодильник. Ни один из опытных образцов олова не «заразился» в течение полугода, в то время как контрольные сэндвичи, находившиеся на воздухе, исправно «заболевали» через 2—3 ч. Полгода спустя исследуемые образцы были извлечены из ампул и положены в холодильник. Через двое суток из 75 образцов не осталось ни одного не «зараженного»!

Роль паров воды становится понятной, если учесть, что у одной из модификаций воды — метастабильного кубического льда — алмазоподобная структура с параметрами, близкими к параметрам решетки серого олова.

Хотя пары воды при осаждении на холодную инертную подложку устойчивы в структуре кубического льда при довольно низких температурах (ниже  $-120^{\circ}\text{C}$ ), кристаллизация его на изоморфную подложку антимонида индия вследствие эпитаксии может иметь место и при значительно более высоких температурах. Разрастаясь по поверхности, кубический лед (правильнее его было бы называть «структурированной водой», так как прямых структурных подтверждений нет) проникает во все поры, микрощели, трещины в оксидной пленке и осуществляет с белым оловом молекулярный контакт, подобный тому, который возникает при втирании, вкалывании и т.п.

Интересен тот факт, что, если пластину InSb окунуть в сосуд с тающей водой, еще сохраняющей ближний порядок обычного гексагонального льда, и сразу же в контакте с белым оловом перенести в морозильную камеру, «заражения» не происходит. Гексагональный лед не только не катализирует перехода, но в его присутствии растущие слои льда из паров эпитаксиально строятся в устойчивую структуру обычного гексагонального льда. «Заражению» олова не поможет при этом даже длительное соседство с InSb.

Любые факторы, препятствующие возможности роста эпитаксиального кубического льда и его контакту с белым оловом, предохраняют последнее от «заражения» и от спонтанной «оловянной чумы», связанной, по-видимому, также с парами воды. Смачивание глицерином, гликолем, спиртом или иными смешивающимися с водой растворителями предотвращает инфекцию. (Спирт — универсальное лекарство — не дает заболеть и олову!)

Становится понятно, почему добавки примесей свинца, сурьмы, висмута и других поверхностно активных в отношении олова веществ предохраняют его от «заражения чумой»: выходя на поверхность металла и скапливаясь на ней, они препятствуют кубическому льду достичь олова даже тогда, когда защитные свойства оксидной пленки оказываются недостаточными. Напротив, любое воздействие на белое олово, нарушающее целостность защитного поверхностного слоя и способствующее контакту олова с кубическим льдом, увеличивает вероятность «заражения», уменьшает «инкубационный период» фазового  $\beta$ — $\alpha$  перехода. Еще Менделеев отмечал, что «если олово измельчить и облить раствором олова в HCl, то переход олова из обыкновенного в серое совершается сравнительно скоро». Такое действие растворителей в настоящее время широко известно. Предполагали, что причиной ускорения  $\beta$ — $\alpha$  перехода в присутствии растворителей может быть удаление с поверх-

ности образца слоя оксида, который препятствует превращению.

Ускорение  $\beta$ — $\alpha$ -перехода в олове наблюдается при всякого рода деформациях (уколах, ударах, прокатке и т.д.), безусловно разрушающих целостность оксидной пленки. Подобное же влияние оказывает и облучение нейтронами, ультразвуком и т.п., что также можно связать с образованием дефектов в пленке.

#### «ПАМЯТЬ» О КОНТАКТЕ С ИНФЕКЦИЕЙ

В литературе встречаются указания на то, что олово, попавшее в пробирку, где когда-то находилось способное инфицировать вещество, «заражается»! Нами показано экспериментально<sup>5</sup>, что если на несколько суток (даже при комнатной температуре) положить на стекло кристалл InSb, то после его удаления «память» о его пребывании там сохраняется. Это стекло «заражает» образец белого олова. Но не сразу, а по прошествии нескольких дней. И не со 100% вероятностью. С повышением температуры стекла резко возрастает «инкубационный период» и падает вероятность «заражения». Выдержка затравки на стекле при 100°C полностью устраняет возможность «заражения». Промывание пластины водой, спиртом и другими поглощающими воду веществами также «стирает» эту «память». Потеря «памяти» происходит и в том случае, если затравка находилась в контакте со стеклом в вакууме или в сухом эксикаторе.

Все эти наблюдения убеждают нас в определяющей роли в процессе все той же структурированной воды. В тонком эпитаксиальном слое она оказывается устойчивой даже при комнатной температуре! Вероятно, слой кубического льда может прочно связываться не только с изоморфными, но и с неизоморфными ему материалами. При эпитаксиальном росте кубического льда на изоморфной подложке и его

поверхностном контакте с неизоморфным веществом между ними образуется переходный слой. При отделении неизоморфного кристалла от изоморфного на первом может остаться часть переходного слоя со структурой кубического льда, которая в свою очередь будет служить затравкой для дальнейшего роста на ней пленки структурированной воды, вызывающей «заражение» при малейшем контакте с белым оловом. В отсутствие паров воды этот вид «памяти» не проявится. Вот почему стекло и другие «инертные» материалы, бывшие в контакте с InSb, при соприкосновении с белым оловом «заражали» последнее. Это объясняет феномен с пробиркой, сохранившей «память» о ранее находившемся в ней сером олове. Отметим, что «активность» стекла выше, если на его поверхности были дефекты, т.е. кубический лед на них удерживается и сохраняется лучше, чем на гладком стекле. Если гладкую и шероховатую пластины из стекла привести в соприкосновение с InSb, выдержать неделю, затем удалить антимоид индия, а стеклянные пластины (даже через сутки!) соединить с образцами  $\beta$ -олова, то шероховатая пластина заразит в среднем три образца из десяти, тогда как гладкая — один.

Хотелось бы напомнить об опытах жителей туманного Альбиона по улучшению атмосферы. Британцы выстреливали из пушек заряды для создания в верхних слоях атмосферы мелких кристалликов йодистого серебра. Вспомним, что и йод, и серебро находятся, как и олово с его уже известными нам аналогами, в V периоде и имеют структуру сфалерита с параметром решетки  $a = 6.48 \text{ \AA}$ . Поэтому эти кристаллы пригодны для создания в облаках «зародышей» с целью конденсации паров воды и выпадения их в виде осадков из атмосферы. Эпитаксиальные слои со структурой кубического льда при дальнейшем росте фазы льда или воды не могли оставаться в метастабильном состоянии и выпадали на землю уже в своей стабильной структуре.

<sup>5</sup> Аптекарь И.Л., Стыркас А.Д. // Высокочистые вещества. 1993. № 3. С.56.

## «ПАМЯТЬ» О СВОЕЙ БОЛЕЗНИ

Существует еще одно замечательное явление, характерное для «оловянной чумы», — это «память» белого олова о том, что оно когда-то прежде переходило в серое.

Ю.Фрицше еще в 1870 г. заметил<sup>6</sup>, что белое олово, полученное путем нагрева из серого, при повторном охлаждении переходит в серое значительно легче, чем при первом. Образец как бы «вспоминает» свою предысторию, в связи с чем это явление, теперь широко известное, обычно называют «памятью». Коэн к одному из признаков «оловянной чумы» отнес «порчу» олова после «выздоровления». Каким образом удается олову «помнить» о своей «болезни» и даже сохранять внешние свидетельства этого?

Итак, как упоминалось, аллотропический переход олова — процесс, который крайне редко бывает самопроизвольным; обычно он происходит лишь в том случае, если олово «заражают» затравкой. Но, единожды претерпев цикл превращений  $\beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$ , повторный переход белого олова в серое осуществляется быстрее и легче, и даже без затравки. «Память» о пребывании в алмазоподобной структуре олово сохраняет длительное время и полностью теряет ее лишь после переплавки.

Напомним, что при  $\beta \rightarrow \alpha$ -превращении олова объем возрастает на 26.6%. От механических напряжений материал рассыпается в порошок, который не является таковым в том смысле, как его рассматривает порошковая металлургия, поскольку размеры частиц достигают нескольких миллиметров. При обратном переходе в белое олово аналогичные напряжения при уменьшении объема способствуют дальнейшему разрушению частиц. Повторение этих процессов — циклирование — приводит ко все большему дроблению (рис.7).

От степени измельчения зависит и форма частиц. После небольшого числа переходов они имеют вид «щебенки», а после 50 приобретают

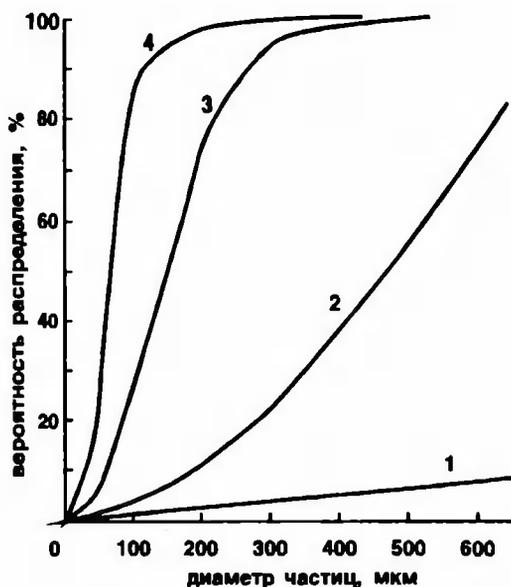


Рис.7. Интегральные кривые распределения частиц порошка после одного — (кривая 1), трех (2), шести (3) и двенадцати (4) циклов перехода.

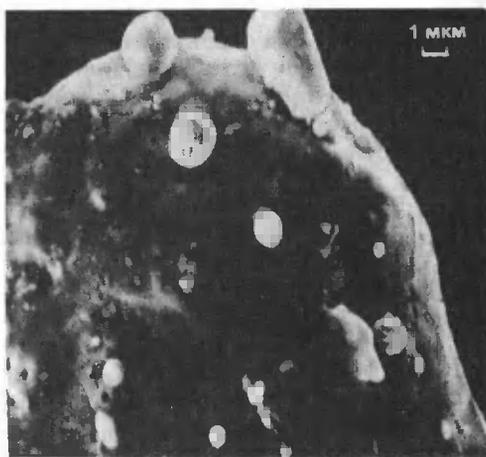


Рис.8. Размеры и форма частиц после пятидесяти циклов.

<sup>6</sup> Fritsche J. // *Memories de l'Acad. Imper. Sci. St.-Petersb.* 1870. Ser.VII. V.15. P.5.

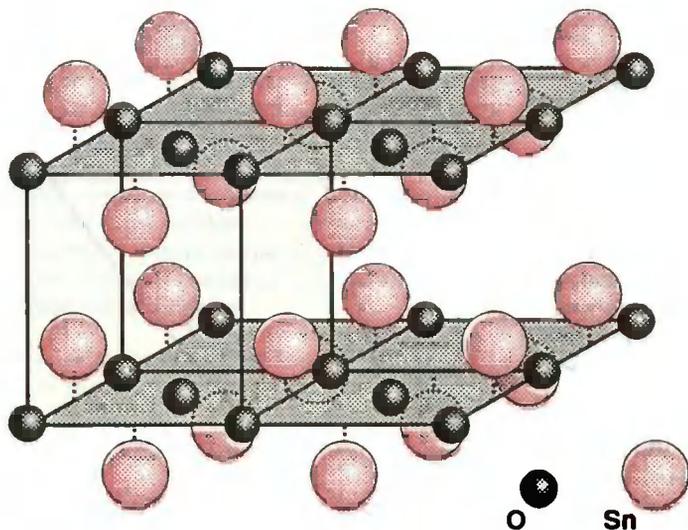


Рис.9. Тетрагональная структура  $PbO$  (красная форма, глет), в которой кристаллизуется  $SnO$  с параметрами  $a = 3.80 \text{ \AA}$  и  $c = 4.84 \text{ \AA}$ ,  $KЧ = 4 (SnO, OSn)$ . Атом  $Sn$  находится в вершине тетраэдрической пирамиды, в основании которой четыре атома кислорода.

сферическую форму (рис.8); при этом размер частиц может быть менее 1 мкм. Циклирование и измельчение порошка без механических или иных внешних воздействий возможно потому, что олово обладает «памятью» о своем пребывании в кубической структуре. Природу этой «памяти» связывают с механизмом активации нерастворимых примесей, которые предложил В.И.Данилов<sup>7</sup> для объяснения роли предистории при затверждении жидкостей. Кристаллизации в данном случае способствуют оставшиеся на поверхности или стенках сосуда примеси в виде переходного слоя со структурой, близкой к структуре кристаллизующегося из расплава вещества.

Такие «подготовленные» для иницирования кристаллизации места на поверхности шероховатого тела стабилизируются дефектами (порами, трещинами и т.д.). В случае олова остается, однако, неясным, какое инородное тело служит подложкой, «запоминающей» акт аллотропического превращения.

Ранее была показана определяющая роль осажденной из воздуха пленки структурированной воды для процесса  $\beta$ — $\alpha$ -превращения. Поэтому прежде

всего надо было выяснить, не связана ли «память» олова с этой пленкой.

Эксперименты дают на этот вопрос отрицательный ответ. «Память» у прошедшего цикл  $\beta$ — $\alpha$ — $\beta$ -олова сохраняется после обработки образца спиртом, глицерином, ацетоном, водой с обычной структурой, после длительного высушивания в эксикаторе или вакууме. Любой из этих видов обработки поверхности олова или стекла после их контакта с  $InSb$  на воздухе полностью удаляет потенциальные центры зародышеобразования, связанные с кубическим льдом.

На воздухе олово с поверхности окисляется, образуя тонкую прочную диоксидную пленку, предохраняющую металл от дальнейшего окисления. Можно было бы предположить, что роль «инородного активного тела» играет эта пленка. Однако образующаяся на поверхности  $\beta$ - $Sn$  пленка диоксида олова со структурой рутила для этого не подходит. Ведь если было бы не так, то проблемы «заражения чумой» не существовало: она всегда присутствует на поверхности металла, и аллотропический переход всегда осуществлялся бы при достижении низких температур. Структуры  $\alpha$ -олова (алмаза) и рутила сильно различаются как типом решетки, так и ее параметрами.

<sup>7</sup> Данилов В.И. Строение и кристаллизация жидкости. Киев, 1956. С.302.

Другое дело — оксидная пленка на поверхности  $\alpha$ -Sn. Существует метастабильный оксид SnO со структурой, близкой к структуре PbO (родственной в известной мере структуре алмаза). Можно предположить, что на  $\alpha$ -олове образуется родственный ему метастабильный оксид SnO, а не стабильный, но далекий по структуре SnO<sub>2</sub>. Оставаясь на поверхности частиц олова, перешедших в  $\beta$ -фазу, этот оксид и служит затравкой для перехода в  $\alpha$ -фазу при охлаждении образца (рис.9).

Для экспериментальной проверки данной гипотезы были предусмотрены меры по предотвращению возможности окисления серого олова. С этой целью образец олова с затравкой помещали в вакуум и охлаждали до полного перехода белого олова в серое. Затем в течение недели образец выдерживали при комнатной температуре для гарантированного перехода олова в  $\beta$ -фазу и лишь после этого ампулу вскрывали. Порошинки олова, взятые из разных мест образца, по возможности удаленных от места затравки, вновь помещали в холод. Ни один образец не перешел в  $\alpha$ -фазу в течение двух месяцев испытания, в то время как обычные порошинки такого рода, побывавшие в  $\alpha$ -состоянии на воздухе, в течение 10—30 мин «вспоминали» о своем пребывании. Однако из ампулы при откачке был удален не только кислород, но и вода.

Чтобы не оставалось сомнений в решающей роли кислорода, а не воды, был проведен эксперимент, подобный описанному, но в ампулу перед откачкой вводили обычный лед. После удаления воздуха ампулу запаивали, а лед обеспечивал присутствие в ампуле паров воды. После аллотропического перехода в  $\alpha$ -фазу на холоде и возврата в  $\beta$ -фазу при нагреве, с последующей выдержкой при комнатной температуре в течение недели, ампулу вскрывали, порошинки обрабатывали спиртом; следующее затем охлаждение не приводило к изменению фазы. Следовательно, именно процесс окисления является виновни-

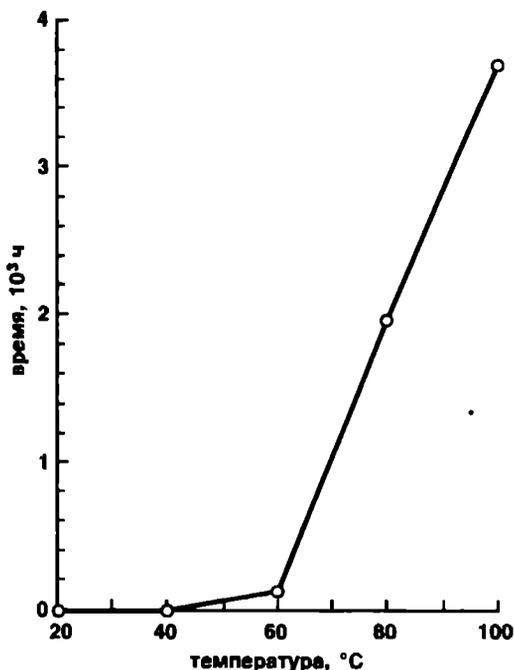


Рис.10. Зависимость «инкубационного» периода «воспламинания» олова о своем пребывании в полупроводниковом состоянии от температуры отжига олова при его повторном переходе в алмазоподобную структуру.

ком в отмеченной Фрицше «памяти о болезни» и сохранения металлом после «выздоровления» признаков «порчи» — особенности, на которую указал Коэн. Порошок серого олова при нагреве на воздухе окисляется, и из него уже нельзя получить компактного куска, т.е. материал «портится».

Как упоминалось выше, белое олово очень устойчиво к окислению, однако кислород особенно активно и успешно атакует связи, ослабленные перестройкой. Окисление наиболее эффективно в моменты фазового перехода. Это отчетливо видно даже невооруженным глазом, а весовые измерения количественно подтверждают данное наблюдение.

При нагреве метастабильный окисел переходит в стабильную форму. При переплавке «память» полностью исчезает, но диоксид остается, вызывая «порчу» металла.

Метастабильные оксиды с прилегающими к ним слоями  $\alpha$ -фазы олова взаимно друг друга стабилизируют. Но все же нагрев приводит к дезактивации порошка. В интервале от комнатной до температуры плавления олова образцы выдерживались по 2 ч, затем при охлаждении измерялось время их «воспоминания». После выдержки при комнатной температуре оно равно 10—15 мин, с ростом температуры ожидание перехода резко возрастает. Выдержка при 100°C увеличивает время ожидания «заражения» до нескольких месяцев, которое в случае отжига образцов при более высоких температурах слишком велико и нами не выявлено (рис.10).

Процесс дезактивации при изотермической выдержке приводит к росту плотности образца, причем выше 100°C плотность уже не меняется, хотя и не достигает (на 1.2%) того значения, которое имело белое олово до первого перехода в  $\alpha$ -фазу. Вероятно, после  $\beta$ - $\alpha$ -перехода в олове остаются «комплексы», состоящие из  $\alpha$ -Sn и прилегающего к нему оксида. Обе составляющие комплекса стабилизируют друг друга. Выше температуры фазового перехода  $\alpha$ -фаза метастабильна, и она тем неустойчивее, чем выше температура. Поэтому с ростом температуры  $\alpha$ -олово постепенно переходит в  $\beta$ -фазу. Метастабильный оксид, хотя и медленнее, тоже переходит в свою устойчивую форму олова (IV) с решеткой рутила. Из наших опытов<sup>8</sup> следует, что после нагрева выше 100°C «активного» остатка в олове практически нет. Из опытов по измерению плотности, однако, вытекает, что и выше 100°C образец не переходит полностью в исходное состояние. Вероятно, выше этой температуры не только все серое олово превращается в белое, но и «активный» метастабильный оксид переходит в пассивную стабильную модификацию. Этот стабильный оксид устойчив

даже при плавлении. Он ответствен за отклонение плотности от первоначальной и приводит к «порче» металла, о которой речь шла выше.

Если действительно могут образовываться две модификации оксидов олова: одна — для белого олова со структурой рутила, другая — для серого олова с метастабильной структурой, родственной  $\alpha$ -олову, то при фазовых переходах они должны иметь тенденции к смене друг друга. Очевидно, что в связи с огромными объемными изменениями оксид частично растрескивается и даже может отделяться от олова. В этом случае возможны два варианта: пленка отшелушивается либо полностью, либо частично, тогда в кристалле остается когерентная связь между  $\alpha$ - и  $\beta$ -слоями.

Для проверки монокристалл серого олова, полученный описанным выше способом, с соблюдением мер предосторожности переводили в  $\beta$ -фазу. Тем не менее кристалл терял сплошность. Самые крупные куски отбирали и помещали в пробирку со спиртом и длительно промывали при интенсивном встряхивании для отделения оксидной пленки от металла. Промытые таким образом образцы не теряли «памяти» и при охлаждении переходили в  $\alpha$ -фазу. Не удалась попытка устранить «память» и промывкой в царской водке, что могло бы способствовать отделению пленки от олова.

Однако, если проводить «циклирование» в условиях вакуума, когда образующееся  $\alpha$ -олово не контактирует с кислородом, процесс измельчения металла в порошок идет своеобразно. Вначале каждое охлаждение приводит к переходу в  $\alpha$ -фазу, каждый нагрев — в  $\beta$ -фазу, что вполне понятно. Естественно, что с каждым циклом дисперсность возрастает. Затем, примерно после 50—60 циклов, переходы  $\beta \rightarrow \alpha$  прекращаются, а дисперсность не только не увеличивается, но даже уменьшается. Частицы белого олова слипаются друг с другом, и в конечном счете образуется пористый губчатый монолит типа керамики. Ве-

<sup>8</sup> Аптекарь И.Л., Стыркас А.Д. // Высококачественные вещества. 1993. № 3. С.61.



Рис.11. Изделия из олова: рама, декорированная оловом. Россия. Конец XVII в. Исторический музей. Москва; кружка. Мастер Лихтенхан из Шнеберга. Середина XVI в. Частное собрание. Мюнхен; сосуды для чая. ФРГ. 1950-е гг.

роятно, запас оксида, который был введен в виде первоначальной затравки, постепенно переходил в форму со структурой рутила, а для образования нового оксида на  $\alpha$ -олове не было кислорода, и «память» исчезала.

Итак, существование «памяти» олова о своей «болезни» и сохранение «рубцов и шрамов» после нее связано с воздействием на серое олово кислорода из атмосферы. Поэтому «память» не возникает в образцах, претерпевших  $\beta$ - $\alpha$ - $\beta$ -переход в условиях вакуума или даже в атмосфере водяных паров, но — в отсутствие кислорода.

Обычная пленка оксида, возникающая на поверхности белого олова и защищающая металл от дальнейшего окисления, не влияет на «память» и не катализирует переход. Решающую роль играет тот оксид, который образуется на поверхности серого олова. Олово, многократно переходившее из  $\alpha$ -фазы в  $\beta$  и обратно, окисляется сильнее, чем способно окисляться белое, даже при более высоких температурах. Это связано не столько с увеличением поверхности материала, сколько с постоянными процессами перестройки существующих связей. А это приводит к ослаблению и ломке любых структур, что знает каждый человек из своего опыта. Так, образец порошка олова,

испытавшего 50 циклов  $\beta$ - $\alpha$ - $\beta$ -превращения, содержит, по данным газового анализа, 0.17—0.23 масс. % кислорода.

Структура SnO (метастабильный оксид со структурой типа PbO) также строится эпитаксиально на поверхности  $\alpha$ -олова и сохраняется после его превращения в  $\beta$ -фазу. По нашему мнению, именно этот оксид и является внутренней затравкой для  $\beta$ - $\alpha$ -перехода и именно он сохраняет «память» об  $\alpha$ -структуре олова после  $\beta$ - $\alpha$ - $\beta$ -цикла. Он частично стабилизирует прилегающие к нему слои серого олова, и это объясняет хорошо известный факт, что  $\alpha$ - $\beta$ -переход идет не до конца и для его ускорения приходится перегреть образцы.

Объяснение «памяти» олова механизмами активации и дезактивации нерастворимых примесей при кристаллизации несостоятельно, особенно при работе с образцами олова высокой чистоты. Оксид олова, возникающий на поверхности  $\alpha$ -олова, сам оказывается этим «инородным» телом, несущим информацию о структуре кристалла  $\alpha$ -олова. Других «инородных» тел при аллотропическом переходе в олово высокой чистоты нет. И его самого не было до первого, инициированного внешней затравкой, перехода. Но, раз возникнув, он долго несет информа-

цию о структуре, несмотря на свою метастабильность.

При многократных фазовых превращениях  $\beta$ — $\alpha$ — $\beta$  попеременным нагревом и охлаждением олова в вакууме после 40 циклов переход прекращался. В рамках модели о сохранении «памяти» инородными примесными частями эта неожиданная потеря «памяти» непонятна: куда исчезли эти инородные примеси? В рамках предлагаемой модели результаты данных опытов находят естественное объяснение: в результате диспропорционирования метастабильная фаза в конце концов исчезает. Тот запас оксида, который был первоначально введен с затравкой, постепенно переходил в неактивную форму со структурой рутила, а новым оксидам на  $\alpha$ -олове не из чего было образовываться и «память» исчезала.

Таким образом, нам представляется, что все загадочные явления, связанные с «оловянной чумой», получили истолкование и экспериментальное подтверждение:

— передача инфекции на растояние обусловлена присутствием в атмосфере паров воды, образующих эпитаксиально на затравках изоморфную с ними структуру;

— эпитаксиальная структура воды способна сохраняться вплоть до комнатной температуры, хотя структура кубического льда в обычных условиях неустойчива уже при  $-120^{\circ}\text{C}$ ;

— за существование в олове «памяти» ответствен низший оксид олова, также метастабильный, но сохраняющий стабильность при эпитаксиальном контакте с  $\alpha$ -оловом;

— известные случаи спонтанного «заражения» олова «чумой» находят естественное объяснение в рамках предложенной модели.

В русских сказках старая мудрая женщина дает витязю клубок, следуя за которым тот достигает, казалось бы, невозможного. Именно терпеливые русские женщины передавали молодому

поколению накопленные знания, потому что в условиях постоянных вражеских набегов мужчины, сражаясь, часто погибали молодыми. Наши предки уважительно называли таких женщин «ведуньями», т.е. знающими, ведающими очень многое. У христиан, которые, согласно канонам своей религии, любили покорных и «нищих духом», люди знающие вызывали неприятие и даже ярость, поэтому мудрую ведунью они превратили в злую «ведьму». Обсуждение этой темы завело бы нас далеко, и потому обратимся лишь к образу запутанного клубка и нити.

Ведь это и в самом деле мудро: терпеливо распутывая запутанное, следуя за нитью, не рви ее в нетерпении, и она откроет скрытое, невиданное. В древнегреческом эпосе с помощью ариадниной нити Тесей нашел выход из лабиринта и не погиб. Но насколько интереснее искать не выход, а путь вперед, как это делали русские витязи!

Загадка «оловянной чумы» похожа на запутанный клубок. Многие предпочитали просто не замечать его, раз не могли разрубить. Между тем терпеливое разматывание нити дало много новых неожиданных и интересных решений. Так, мы теперь умеем делать порошки любой заданной дисперсности, причем олово остается высокочистым по всем, кроме кислорода, примесям. Можем делать губку пористого высокочистого олова и фильтры или катализаторы с развитой поверхностью. По скорости фазового превращения умеем оценивать чистоту олова такой высокой степени, которую нельзя установить методами аналитической химии. Можем использовать фазовый переход для дальнейшего повышения чистоты.

Теперь мы лучше понимаем, как эффективно защитить изделия из олова от гибели при жестоких морозах. Не говоря уже о научном аспекте этой вековой загадки.

Так что не надо чураться ведуний и запутанных клубков.

# Дрожжи-убийцы

В. И. Голубев,

доктор биологических наук  
Российская коллекция микроорганизмов  
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов РАН  
Пушино

ИЗДАВНА человек широко использовал в своей практике одноклеточные грибы — дрожжи. И одна из причин тому — отсутствие в составе их клеток и продуктах жизнедеятельности высокотоксичных веществ, что нередко присуще бактериям и мицелиальным грибам. Хотя среди известных (около 600 видов) дрожжей некоторые портят пищевые продукты, что снижает качество (вкус, запах) и ухудшает их товарный вид (помутнение, вспенивание), но случаев отравления такими испорченными продуктами не зафиксировано. Немногие патогенные для человека дрожжи относятся к так называемым возбудителям-оппортунистам, которые вызывают заболевание лишь у ослабленного организма, с пониженной иммунной защитой (резко возрастает заболеваемость микозами, например, больных СПИ-Дом). В целом роль дрожжей в природных биоценозах оценивается обычно положительно — их рассматривают, как правило, в качестве поставщиков различных факторов роста (витаминов, аминокислот, стероидов) другим членам сообществ.

В свете сказанного непривычным выглядит появившееся лет 30 назад и с тех пор частое в научных публикациях словосочетание «дрожжи-убийцы» («killer yeasts»). Так были названы штаммы *Saccharomyces cerevisiae* (к этому виду принадлежат пекарские, пивные и винные дрожжи), которые выделяют вещества, убивающие клетки других штаммов этого же вида при низких значениях pH среды. В дальнейшем установили, что секре-

тируемый сахаромецетами токсин представляет собой небольшой белок (молекулярная масса — около 20 кДа) с высоким содержанием гидрофобных аминокислот. Оказалось, что этот токсин нарушает проницаемость цитоплазматической мембраны у чувствительных к нему дрожжей, вследствие чего клетка в результате образовавшихся в ней пор теряет жизненно необходимые соединения и в итоге гибнет<sup>1</sup>. При этом сами штаммы-киллеры устойчивы к действию собственного токсина.

Образование такого цитотоксического белка у сахаромецетов обязано присутствию в их клетках РНК-содержащих вирусных частиц<sup>2</sup>. Эти вирусы неинфекционны и наследуются лишь дочерними клетками при вегетативном размножении, а при половом процессе заражение происходит в результате конъюгации между клетками, содержащими вирусы и свободными от них. С прикладной точки зрения небезынтересно отметить, что двухцепочечная РНК данных вирусов индуцирует синтез интерферона и обладает антивирусной активностью<sup>3</sup>.

Обусловленный токсинообразованием антагонизм между культурами сахаромецетов получил название «киллер-феномен». Генетики на первых

<sup>1</sup> Martinac B., Zhu H., Kubalski A., Zhou X., Culberston M., Bussey H., King C. Yeast K1 killer toxin forms ion channels in sensitive yeast spheroplasts and artificial liposomes // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1990. V.87. P.6228.

<sup>2</sup> Wickner R.B. Double-stranded and single-stranded RNA viruses of *Saccharomyces cerevisiae* // Ann. Rev. Microbiol. 1992. V.46. P.347.

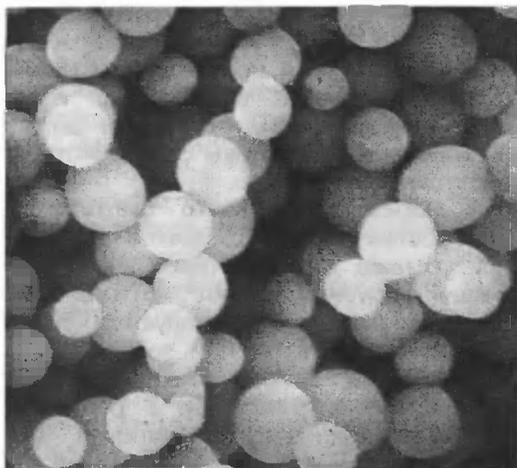
<sup>3</sup> Нестерова Г.Ф. Биологическая активность двуцепочечных РНК // Биотехнология. 1990. № 4. С.7.



а



б



в

*Клетки дрожжей: а) под световым микроскопом (увел. 1000); б) под электронным сканирующим (увел. 2000); в) ультратонкий срез почкующей клетки (увел. 10000).*

порах использовали это явление как удобную модель для изучения взаимоотношений между вирусами и ядерным геномом эукариотной клетки, а биохимики — для исследований секреции белков, так как киллер-токсины не накапливаются в клетках, а почти сразу полностью выводятся в среду. Такая особенность киллерных систем может оказаться полезной при создании эффективных векторов для биотехнологического получения полезных белков.

Открытие киллер-феномена весьма озаботило виноделов и пивоваров. Дело в том, что большинство промышленных штаммов культур при длитель-

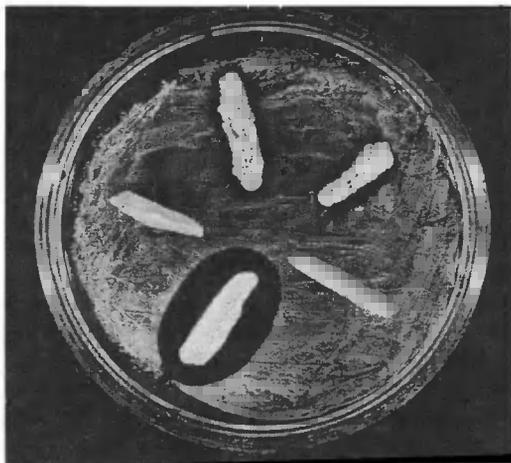
ном поддержании дрожжей в лабораторных условиях утрачивают вирусные частицы и, следовательно, способность синтезировать киллер-токсин; более того, становятся к нему чувствительны. Это означает, что в процессе сбраживания соков или суслу случайно попавшие дикие штаммы-киллеры довольно быстро могут вытеснить промышленные культуры. Во избежание такого нежелательного эффекта сейчас предпринимаются усилия по конструированию штаммов винных, пивных дрожжей, соединяющих в себе ценные производственные качества и киллерные свойства<sup>4</sup>.

Начавшееся немногим более 10

<sup>4</sup> Salek A., Schnettler R., Zimmerman U. Stably inherited killer activity in industrial yeast strains obtained by electrotransformation // FEMS Microbiol. Lett. 1992. V.96. P.103.

лет назад обследование коллекционных культур показало, что киллер-феномен не ограничен лишь сахаромидетами, а широко распространен среди всего разнообразия дрожжевых организмов. К настоящему времени штаммы-киллеры выявлены у представителей почти всех известных родов, и частота их встречаемости может быть очень высока, составляя порой десятки процентов (приближаясь иногда к 100%) от проверенных изолятов<sup>5</sup>. Во всех исследованных случаях киллер-белки (часто гликозилированные) имели молекулярную массу в пределах 10–20 кДа, редко выше (около 100 кДа). Многие из них действуют подобно токсину сахаромидетов, нарушая проницаемость цитоплазматической мембраны, но обнаружены также токсины, угнетающие синтез нуклеиновых кислот, полисахаридов клеточной стенки или блокирующие определенные этапы клеточного цикла<sup>6</sup>. Различной оказалась и генетическая детерминация киллерного фенотипа: синтез токсинов может быть обусловлен как цитоплазматическими элементами (вирусами, геном которых представлен линейными двухцепочечными РНК, ДНК-плазмидами), так и хромосомными генами<sup>7</sup>.

Очень важно, что киллер-токсины обладают лишь противогрибковой активностью. Не обнаружено какого-либо действия их на органы животных даже при очень высоких концентрациях, и отсутствуют достоверные сведения об их активности против бактерий и простейших<sup>8</sup>. Принципи-



*Подавление роста дрожжей, посеянных сплошным газоном, вокруг нанесенных на него штрихом культур микоциногенных дрожжей.*

альная особенность этих дрожжевых антибиотиков — таксономическая специфичность их спектров действия: они активны только против родственных киллерам организмов<sup>9</sup>. Однако степень родства чувствительных организмов сильно варьирует: одни из токсинов высоко специфичны, убивают лишь штаммы того же вида или близкородственных ему; другие проявляют активность внутри своего рода и против видов филогенетически близких родов; найдены также токсины довольно широкого спектра действия — активные против представителей других (но родственных) семейств и даже порядков.

Такая избирательность действия киллерных токсинов определяет их прикладное использование в качестве противогрибковых препаратов. К настоящему времени найдены продуценты токсинов, активных против возбудителей кандидозов и криптококкоза. В опытах на животных уже показан положительный терапевтический эф-

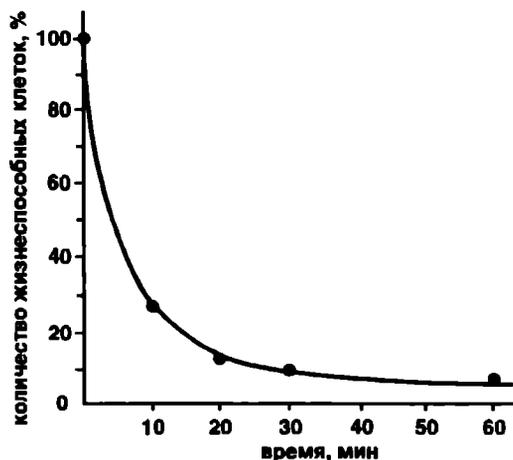
<sup>5</sup> Голубев В.И., Чуркина Л.Г. Широкое распространение штаммов-убийц у дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* (Jørgensen) Harrison // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1990. № 6. С.854.

<sup>6</sup> Schmitt M., Brendel M., Schwarz R., Radler F. Inhibition of DNA synthesis by yeast killer toxin KT28 // J. Gen. Microbiol. 1982. V.135. P.1529; Yamamoto T., Hiratani T., Hirata H., Imai M., Yamaguchi H. // FEBS Lett. 1986. V.197. P.50; Голубев В.И. // Микология и фитопатология. 1991. Т.25. С.482.

<sup>7</sup> Worsham P.L., Bolen P.L. // Curr. Genet. 1990. V.18. P.77; Goto K., Iwatuki Y., Kitano K., Obata T., Hara S. // Agric. Biol. Chem. 1990. V.54. P.979.

<sup>8</sup> Pfeiffer P., Radler F., Caspriz G., Hanel H. // Appl. Environm. Microbiol. 1988. V.54. P.1068.

<sup>9</sup> Boekhout T., Fonseca A., Sampalo J.P., Golubev W.I. // Can. J. Microbiol. 1993. V.39. P.276.



*Гибель дрожжевых клеток при инкубации с микоцином.*

фект одного из них при лечении дерматитов<sup>10</sup>. Однако недостаточная изученность строения и механизмов действия подавляющего большинства токсинов дрожжей не позволяет пока широко применять их в борьбе с нежелательными микоинфекциями, приносящими огромные потери в пищевой промышленности и в медицине.

Таксономическая специфичность спектров активности киллер-токсинов обусловлена главным образом первым этапом их взаимодействия с чувствительными клетками, т.е. избирательной адсорбцией на поверхности клеточной стенки. В состав рецепторов, связывающих токсины, входят полисахаридные компоненты клеточной стенки. Хорошо известно, что химический состав клеточных стенок разных таксономических групп грибов, в том числе и их основных компонентов — полисахаридов, различен<sup>11</sup>. Рецепто-

ры, связывающие их, могут быть как уникальными, характерными для узкого круга таксонов, так и общими для множества филогенетически родственных грибов, что и определяет, видимо, диапазон спектров действия токсинов. Например, прежде чем попасть на цитоплазматическую мембрану, токсин K1 сахаромицетов сорбируется на участках поверхности клеточной стенки, содержащих  $\beta$ -1,6-глюкан; токсин KT28 взаимодействует с маннаном; а токсин, продуцируемый ключверомицетами, прикрепляется к локусам, включающим хитин<sup>12</sup>.

Спектр действия киллер-токсинов значительно возрастает, если на чувствительность к ним испытывать не целые, нативные, а лишенные стенок клетки (сферопласты), т.е. специфичность их определяется также (но в меньшей степени) составом цитоплазматической мембраны. Полученные от чувствительных штаммов мутанты (с измененным строением указанных полисахаридов) теряют способность сорбировать токсин и становятся устойчивыми к нему.

Таксоносцифичность чувствительности к киллер-токсинам предоставляет исследователям новый инструмент для изучения таксономических и филогенетических взаимоотношений между дрожжевыми организмами, который может быть использован на разных уровнях таксономической иерархии<sup>13</sup>. Совокупность реакций (чувствительность, устойчивость, иммунность) к достаточно большому количеству токсинов настолько высокоспецифична, что такие характеристики предложены в эпидемиологии для биотипирования патогенных изолятов и как маркеры для защиты запатентованных штаммов.

Необходимо подчеркнуть, что киллер-феномен у дрожжей представляет собой частный случай общебио-

<sup>10</sup> Sawant A.D., Ahearn D.G. // *Antimicrob. Agents and Chemotherapy*. 1990. V.34. P.1331; Голубев В.И. // *Микробиология*. 1991. Т.60. С.115; Polonelli L., Lorenzini R., De Bernardis F., Morace G. // *Microbiol.* 1986. V.96. P.103.

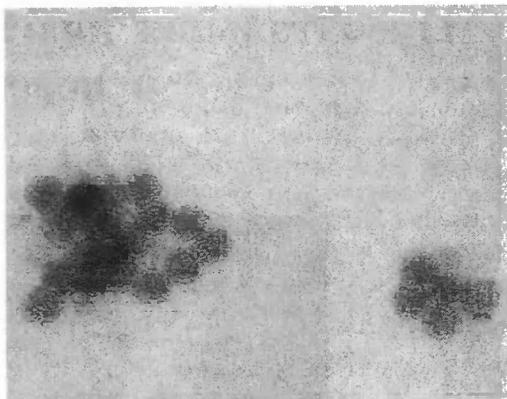
<sup>11</sup> Weijman A.C.M., Golubev W.I. Carbohydrate patterns and taxonomy of yeasts and yeast-like fungi // *Studies in Mycology*. 1987. № 30. P.361.

<sup>12</sup> Takita M.A., Castilho-Valavicius B. // *Yeast*. 1993. V.9. P.589.

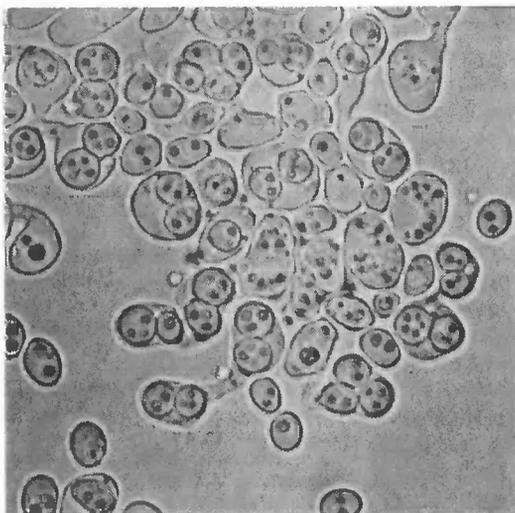
<sup>13</sup> Golubev W.I. *Rhodospodidium babjevae*, a new heterothallic yeast species (Ustilaginales) // *System. Appl. Microbiol.* 1993. V.16. P.445.

логического явления. Подобный тип антагонизма, обусловленный секрецией белков, к которым сами продуценты иммунны, но токсичны для родственных организмов, известен для парамеций, миксомицетов, головневых грибов и бактерий<sup>14</sup>. У последних такое явление носит название бактериоциногении, а сами белки — бактериоцинов. По нашему мнению, чтобы акцентировать общность таких антагонистических взаимодействий, правильнее было бы именовать киллер-феномен микоциногенией, штаммы-убийцы — микоциногенными, а киллер-токсины — микоцинами. Такая терминология ликвидировала бы негативную эмоциональную окраску первоначальных терминов. Ведь в популярной литературе уже раздаются призывы отказаться от потребления хлеба, дабы обезопасить себя от дрожжей-убийц, и питаться лишь продуктами из бездрожжевого теста<sup>15</sup>.

Обнаружение и широкое распространение микоциногении среди дрожжей вносит принципиальные коррективы в понимание их роли в естественных биоценозах. В частности, эпифитные дрожжи — продуценты микоцинов широкого спектра действия — обеспечивают, очевидно, один из уровней защиты растений от таксономически родственных дрожжам фитопатогенных грибов<sup>16</sup>. Начавшиеся в этом направлении исследования свидетельствуют, что наличие микоциногенных клонов во многом определяет структуру дрожжевых сообществ<sup>17</sup>,



Вирусные частицы микоциногенных дрожжей (увел. 100 000).



Образование аскоспор проконъюгировавшими клетками (увел. 1500).

<sup>14</sup> Quackenbust R.L. Endosymbionts of killer paramecia // Doltz H.D. Paramecium. Springer-Verlag. Berlin, 1988. P.406; Koltin Y. Ustilago maydis virus-encoded killer system // Wickner R.B. et al. Extrachromosomal Elements in Lower Eukaryotes. Marcel Dekker Inc. New York; Basel, 1988. P.209; Dykes G.A. // Trends In Ecology and Evolution. 1995. V.10. P.186.

<sup>15</sup> Дерябин А.М. Продлите молодость свою. Душанбе, 1991.

<sup>16</sup> Голубев В.И. // Микробиология. 1989. Т.58. С.99.

особенно там, где плотность их популяций высокая (сокоотечение, поверхность листьев растений, отмирающие сочные плоды, ткани), подтверждая тезис Канта, что в конце концов антагонизм есть причина закономерного порядка общества.

<sup>17</sup> Ganter P.F., Starmer W.T. // Ecology. 1992. V.73. P.54.

# Пренатальная диагностика: реальность и перспективы

В. С. Баранов



*Владислав Сергеевич Баранов, доктор медицинских наук, соросовский профессор, заведующий лабораторией пренатальной диагностики наследственных и врожденных болезней Института акушерства и гинекологии им. Д.О.Отто РАМН, руководитель Всероссийского центра пренатальной диагностики муковисцидоза и Городского центра пренатальной диагностики (Санкт-Петербург), главный специалист города по медицинской генетике. Основная область научных интересов — генетика развития человека, медицинская генетика, генная терапия. Лауреат премии им. А.А.Баева по программе «Геном человека» (1996).*

**Д**ЕТИ — не только генетическое продолжение нашего рода, не только шанс, великодушно, предоставленный природой каждому из нас, чтобы обессмертить себя в веках, но и залог, неперемное условие счастливой и долгой жизни любой семьи. К сожалению, такое счастье дано далеко не всем. Я не буду касаться бесплодных супружеских пар (таких, увы, около 10%), поскольку для большинства из них уже разработаны и широко используются различные варианты экстракорпорального оплодотворения («дети в пробирке»), но сосредоточу внимание на семьях, отмеченных горестной печатью судьбы — рождением детей с тяжелыми, неизлечимыми врожденными нарушениями как наследственной (генетической), так и ненаследственной (экзогенной) природы.

По данным Всемирной организации здравоохранения около 2.5% новорожденных появляются на свет с различными пороками развития. При этом 1.5—2% из них обусловлены неблагоприятными внешними (экзогенными) факторами (так называемыми тератогенами), а остальные имеют преимущественно генетическую природу.

Среди экзогенных причин пороков развития следует упомянуть биологические (ряд инфекционных заболеваний, таких как краснуха, герпес, токсоплазмоз, хламидийная инфекция, цитомегаловирусная инфекция), физические (все виды ионизирующего излучения, радионуклиды) и химические (гормональные и все противопухольные препараты, наркотические вещества и пр.).

Генетические факторы пороков развития составляют общий «генетический груз» популяции, который отягощает

более чем 5% населения планеты. Из них примерно 1% приходится на генные мутации, 0,5% — на хромосомные, около 3—3,5% — соответствует болезням с выраженным наследственным компонентом (диабет, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, некоторые опухоли и т.д.). Если к этому добавить, что около 40—50% ранней младенческой (перинатальной) смертности и инвалидности с детства обусловлены наследственными факторами и примерно 30% коек в стационарах заняты детьми с наследственной патологией<sup>1</sup>, становится понятной необходимость правильной и рационально организованной ранней диагностики врожденных и наследственных болезней. Решающая роль в этом принадлежит институтам медико-генетической службы и в первую очередь тем ее подразделениям, которые обеспечивают пренатальную (дородовую) диагностику, позволяющую не только выявить патологию еще до рождения, но и предотвратить появление на свет детей с тяжелыми, необратимыми пороками развития, с социально значимыми смертельными генными и хромосомными болезнями.

Медико-генетическая помощь в России, как и в бывшем СССР, организована по территориальному принципу. Она включает как обязательное начальное звено медико-генетические консультации и кабинеты (в 1994 г. их было 85), межобластные (межрегиональные) медико-генетические центры (всего — 16) и как высшее звено — шесть федеральных медико-генетических центров (четыре — в Москве, один — в Санкт-Петербурге и один — в Томске). Непосредственно пренатальная диагностика сосредоточена почти исключительно в межобластных, межрегиональных и федеральных медико-генетических центрах.

Задача данной статьи — познакомить читателя с современным положением

дел в этой стремительно развивающейся области медицинской науки, ее реальными возможностями, объективными трудностями, которые она встречает в мире и в нашей стране, и, наконец, обратить внимание на поистине захватывающие перспективы, которые открывает для здравоохранения союз медицинской генетики и молекулярной биологии.

#### ПРЕНАТАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА: НАУКА ИЛИ НАБОР МЕТОДОВ?

Пренатальная диагностика наследственных и врожденных болезней — сравнительно новое направление медицинской генетики, возникшее только в 80-х годах уходящего XX в. на стыке таких клинических наук, как акушерство, гинекология, медицинская генетика, с одной стороны, и патофизиология, биохимия, цитогенетика, молекулярная биология, генетика человека — с другой<sup>2</sup>. Слишком узко и излишне утилитарно, а по мнению автора, и ошибочно понимать пренатальную диагностику как набор различных методов, направленных на постановку диагноза у плода. Очевидно, что по мере развития пренатальная диагностика все больше приобретает очертания вполне самостоятельного научного направления со своими задачами, методами и предметом исследования. По сути уже сегодня ее можно рассматривать как биологию развития, т.е. эмбриологию человека, основная научная задача которой — изучение особенностей реализации генетической информации развивающегося зародыша человека в норме и патологии на молекулярном, клеточном, тканевом и организменном уровнях и разработка на этой основе оптимальных спо-

<sup>2</sup> Баранов В.С. Дородовая диагностика наследственных болезней. Современное состояние, реальные возможности и перспективы // Вестн. АМН СССР. 1987. № 4. С.44—50; Он же. Проблемы пренатальной диагностики наследственных болезней и возможные пути их коррекции // Биополимеры и клетка. 1990. Т.6(1). С.46—51; Он же. О некоторых успехах и перспективах молекулярной диагностики наиболее распространенных наследственных заболеваний // Цитология и генетика. 1992. Т.26(4). С.64—72.

<sup>1</sup> Вельтищев Ю.Е., Казанцева Л.З. Клиническая генетика: значение для педиатрии, состояние и перспективы // Материнство и детство. 1992. № 8—9. С.4—11; Бочков Н.П. Генетические технологии в педиатрии // Педиатрия. 1995. № 4. С.21—26.

собов профилактики, диагностики и, в обозримом будущем, лечения наследственных болезней.

Поскольку в настоящее время человеческий зародыш доступен для самых разнообразных исследований почти на любой стадии развития, естественно, что и арсенал диагностических методов и соответственно его возможности могут быть различными. Так, ряд наследственных болезней сегодня можно выявлять уже в первые дни развития зародыша, т.е. еще до имплантации (первые семь дней после оплодотворения). Однако пока такая диагностика реальна только в рамках программы экстракорпорального оплодотворения, когда зрелую яйцеклетку после оплодотворения вне организма культивируют несколько дней в искусственных условиях, а затем пересаживают матери. Обычно же пренатальную диагностику проводят позже — в течение 1-го и 2-го триместров беременности. Для этих целей используют разнообразные оперативные приемы, позволяющие получать образцы эмбрионального материала, которые исследуют специальными морфологическими, цитогенетическими, биохимическими и молекулярными методами<sup>3</sup>.

Существующие в пренатальной диагностике методы целесообразно разделить на непрямые, когда обследуется беременная женщина, и прямые, если исследуется сам плод. Последние могут быть инвазивные (оперативные) и неинвазивные (табл. 1).

Основное назначение **непрямых методов** — отбор групп высокого риска, нуждающихся в дальнейшем детальном наблюдении. Здесь наряду с бактериологическими исследованиями на скрытые инфекции и акушерско-гинекологическим осмотром важная роль принадлежит медико-генетическому консультированию. Такой отбор возможен уже в женской консультации. Основные показания для направления беременной на

пренатальную диагностику во всем мире примерно одинаковы. Они включают: возраст женщины — старше 35 лет (в России по приказу Минздрава 1993 г. — старше 39 лет); не менее двух самопроизвольных аборт на ранних сроках беременности; наличие в семье ребенка или плода при предыдущей беременности с болезнью Дауна, другими хромосомными болезнями, с множественными врожденными пороками, семейное носительство хромосомных перестроек; многие моногенные заболевания, ранее обнаруженные в семье или у ближайших родственников; применение до беременности и на ее ранних сроках ряда фармакологических препаратов; перенесенные вирусные инфекции (гепатит, краснуха, токсоплазмоз и др.); облучение кого-нибудь из супругов до зачатия.

В последние годы помимо перечисленных стандартных показаний (они полезны для сведения не только врачам, но и всем женщинам детородного возраста) особенно важная роль отводится контролю так называемых маркерных эмбриональных белков в сыворотке крови матери. Эти белки ( $\alpha$ -фетопротеин, хориальный гонадотропин, свободный эстрадиол и некоторые другие) продуцируются клетками самого плода или плаценты и поступают в кровотоки матери, причем их концентрация в сыворотке крови зависит от срока беременности и от состояния плода. Например, при открытых дефектах нервной трубки (экзенцефалия, мозговые грыжи), незаращении передней брюшной стенки, аномалиях почек содержание  $\alpha$ -фетопротеина возрастает.

В мировой литературе накоплен обширный фактический материал о динамике изменения этих сывороточных белков в норме и при различной патологии. Почти во всех развитых странах для выявления групп высокого риска рождения детей с врожденными и наследственными (хромосомными) пороками у всех беременных женщин определяют содержание этих эмбриональных белков.

Использование всех трех тест-систем в оптимальные сроки (15—16 недель беременности) позволяет выявить до 80% плодов с дефектами

<sup>3</sup> Баранов В.С., Вахарловский В.Г., Айлазян Э.К. Пренатальная диагностика и профилактика врожденных и наследственных заболеваний // Акушерство и гинекология. 1994. Т.6. С.8—11.

**Таблица 1**  
**Основные методы пренатальной диагностики**

Непрямые	Прямые	
	неинвазивные	инвазивные
Акушерско-гинекологические Медико-генетические (генеалогическое, цитогенетическое, молекулярно-биологическое обследования) Бактериологические, серологические Биохимические (тесты на $\alpha$ -фетопротеин, эстрадиол, хориальный гонадотропин и др.)	Ультразвуковое сканирование Электрокардиография Рентгенография и др.	Хорионбиопсия (8—10 недели беременности) Трансвагинальная и трансабдоминальная биопсия Плацентоцентез (II-й триместр беременности) Амниоцентез (ранний — I-й триместр, 12—14 н.б., общепринятый — II-й триместр, 18—20 н.б.) Кордоцентез (II-й триместр, 20—24 н.б.) Фетоскопия Биопсия тканей плода (печень, селезенка, кожа и др.)

развития внутренних органов и до 65% — с хромосомными болезнями (например, с болезнью Дауна, популяционная частота которой составляет 1 на 600—650 новорожденных!). Естественно, что эффективность и соответственно экономическая «рентабельность» (ведь содержание только одного ребенка с болезнью Дауна в течение года в специнтернате обходится в 40—50 тыс. долл.) такого скрининга реальна только при массовом обследовании всех беременных с использованием автоматических компьютерных программ подсчета риска.

К сожалению, сравнительно высокая стоимость иммуноферментного анализа, отсутствие добротных отечественных диагностических наборов приводит к тому, что даже в таких городах, как Москва и Санкт-Петербург, менее половины беременных проходят полное обследование. Причем в большинстве случаев оно ограничено только анализом  $\alpha$ -фетопротеина, что резко снижает его диагностические возможности по сравнению со стандартными ди- или триплотестами.

Наиболее распространенный и самый эффективный прямой неинвазивный метод исследования плода — ультразвуковое обследование, ультразвуковая диагностика (УЗД). Сегодня почти все медико-генетические центры

России укомплектованы импортными УЗ-аппаратами высокой разрешающей способности и до 90% всех беременных Москвы и Санкт-Петербурга проходят УЗ-обследование во время беременности. По данным Городского медико-генетического центра Санкт-Петербурга с помощью УЗД обнаружено до 80% плодов с анатомическими пороками, т.е. в настоящее время этот метод — самый простой и эффективный способ диагностики. Важно подчеркнуть для широкого круга читателей, что УЗ-диагностика, апробированная уже на сотнях миллионов беременных, абсолютно безвредна для матери и плода. К сожалению, метод малоинформативен при хромосомных и особенно моногенных заболеваниях, для диагностики которых необходимы клетки самого плода или его провизорных органов (плаценты, оболочек), получаемых оперативными методами под контролем УЗ-аппаратов.

Достаточно полную информацию о кариотипе зародыша, биохимических и генотипических особенностях его клеток дает непосредственное исследование тканей самого плода или его провизорных органов. Для выделения этих клеток существуют различные инвазивные методы, позволяющие получать необходимый эмбриональный материал на любом сроке беременности и даже в доимплантационном

периоде. Так, в настоящее время реально доступны исследованию зародыши человека доимплантационных стадий развития, получаемые для экстракорпорального оплодотворения. Анализируя молекулярными или цитогенетическими методами полярные тельца и изолированные бластомеры дробящихся зародышей, можно достаточно точно определить пол плода (что важно при наличии в семье заболеваний, сцепленных с X-хромосомой), а также выявить ряд распространенных наследственных заболеваний (муковисцидоз, гемофилия, синдром fragile X-хромосомы и др.). В передовых западных центрах доимплантационная диагностика уже проводится (в России и странах СНГ она пока отсутствует). После такой процедуры зарегистрированы случаи рождения здоровых детей<sup>4</sup>. Однако в целом доимплантационная диагностика еще находится в стадии научных разработок.

Вместе с тем во многих медико-генетических центрах нашей страны с помощью инвазивных методов получают плодный материал как в 1-м, так и во 2-м триместрах беременности. Именно в России еще в 1979 г. В.С.Розовский и В.А.Бахарев с целью пренатальной диагностики одни из первых в мире выполнили хорионбиопсию, которая тогда не получила распространения. Только в 80-х годах с появлением высокоразрешающих УЗ-аппаратов инвазивные методы выделения плодного материала стали широко применяться. Они включают биопсию хориона или ворсинок плаценты, амниоцентез (прокол амниотического пузыря) с забором нескольких миллилитров амниотической жидкости с находящимися в ней клетками плода, кордоцентез (прокол сосудов пуповины) и забор небольшого объема крови плода.

Естественно, что все инвазивные процедуры выполняются строго стерильно, под контролем ультразвукового аппарата и, что очень существенно, как правило, амбулаторно. Так, в Санкт-Петербурге, начиная с 1987 г.,

проведено более 2.5 тыс. инвазивных процедур. Число их постоянно увеличивается, а степень риска постоперационных осложнений снижается: при амниоцентезе, трансабдоминальной хорионбиопсии и плацентобиопсии она составила в среднем 1.2%, а при кордоцентезе — 3.2% (табл.2). Это вполне сопоставимо с аналогичными зарубежными данными.

Совершенствование инвазивных методов возможно с разработкой приемов биопсии не только пуповины, но и других органов плода (мышц) и, наконец, с получением клеток плода, флотирующих в крови матери. Такие клетки, выделенные из периферической крови матери в достаточном количестве, позволяют определять кариотип плода и диагностировать генные болезни без инвазивных вмешательств. Активные исследования в этом направлении ведутся в ряде передовых диагностических центров Америки и Европы, но пока не вошли в практику.

#### ДИАГНОСТИКА ХРОМОСОМНЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Известно, что на долю пренатальной диагностики хромосомной патологии приходится около 80—85% женщин из групп высокого риска, направляемых на обследование с применением инвазивных методов. Именно поэтому такое внимание уделяется разработке удобных, эффективных и надежных методов хромосомного (цитогенетического) анализа клеток плода. В настоящее время проблема такой диагностики почти на любом сроке беременности успешно решена. Но исследования в этом направлении продолжаются, и в каждой лаборатории предпочитают свой излюбленный набор методов. Так, в нашем центре широко применяются прямые методы приготовления хромосомных препаратов непосредственно из клеток хориона или плаценты, либо после трехдневного культивирования из лимфоцитов пуповинной крови плода, получаемых при проколе сосудов пуповины (кордоцентезе). В других — используют методы краткосрочного или длительного

<sup>4</sup> Verlinsky Y., Kuliev A. Preimplantation diagnosis of genetic diseases. Wiley-Liss, 1993.

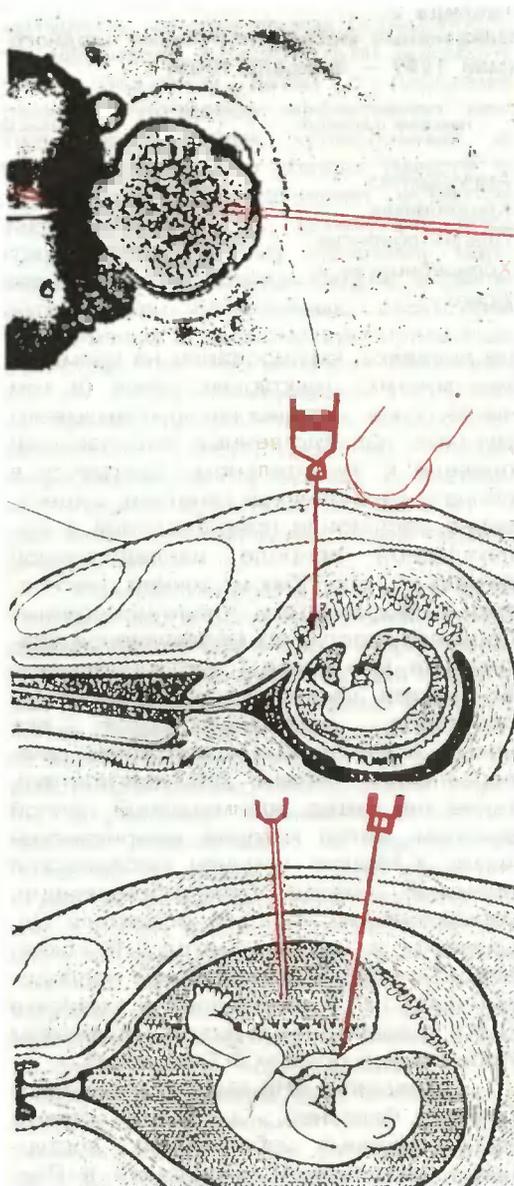
культивирования. Оптимально, видимо, рациональное сочетание обоих подходов, что, однако, сопряжено с серьезными финансовыми трудностями. Методически наиболее удобно диагностировать хромосомные болезни у плода 10—12 недель беременности, когда еще возможен медицинский аборт. Хромосомные препараты из ворсин хориона (плаценты) прямым методом готовят до 19—20 недель беременности, а на более поздних сроках их получают из культивируемых лимфоцитов пуповинной крови. Кариотип можно определять на культивированных клетках амниотической жидкости в период от 13—21 недели беременности.

Число хромосомных нарушений, обнаруженных в 1-м триместре беременности, как правило, существенно выше, чем во 2-м триместре. Так, по нашим данным в 1-м триместре число плодов с аномалиями кариотипа составило 7.3%, а во 2-м — только 4.3%. Согласно мировой статистике, эффективность пренатальной диагностики хромосомных болезней в среднем составляет 5%, причем из них более половины приходится на избыток хромосомы 21 (болезнь Дауна). Несложные математические подсчеты показывают, что, если вся пренатальная диагностика ограничивалась бы только этой болезнью, она, безусловно, была бы рентабельной с экономической точки зрения. Однако хромосомные нарушения составляют хотя и значительную, но далеко не всю диагностируемую патологию.

Дальнейшее развитие пренатальной диагностики хромосомных болезней, вероятно, будет связано с широким привлечением методов и приемов молекулярной цитогенетики, и прежде всего методов гибридизации *in situ* (в организме), что позволит не только выявлять числовые нарушения кариотипа даже на неделящихся (интерфазных) ядрах, но и более детально анализировать структурные перестройки хромосом.

#### ДНК-ДИАГНОСТИКА ГЕННЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Успехи молекулярной биологии в расшифровке тонкой организации гено-



*Инвазивные методы получения плодного материала, характерные для разных сроков беременности. Вверху — микрохирургия дробящейся яйцеклетки (~120 мкм) на самой ранней стадии беременности (1—7 дн.); слева — удерживающая пилетка (~250 мкм).*

*В середине — биопсия ворсинок зародышевой оболочки и плаценты (трансвагинальная хорионбиопсия, трансабдоминальный плацентоцентез) в 1-м триместре беременности; вверху справа — датчик УЗИ.*

*Внизу — проколы амниотического пузыря (амниоцентез) и сосудов пуповины (кордоцентез) во 2-м триместре беременности.*

**Таблица 2**  
**Инвазивные методы получения плодного материала**  
**(май 1987 — февраль 1996)**

Название процедуры	Количество диагностик		Риск осложнений после процедуры (%)
	всего	хромосомных	
Амниоцентез	285	47	1.2
Кордоцентез	212	212	3.2
Плацентобиопсия	1094	1084	1.2
Хорионбиопсия	948	893	1.3
Всего	2539	2236	

ма человека, картировании на хромосомах многих структурных генов (в том числе генов, мутации которых вызывают тяжелые наследственные заболевания) привели к значительному прогрессу в области медицинской генетики, существенно расширили представления о молекулярной природе наследственной патологии, способах их точной диагностики и профилактики. Число моногенных болезней, доступных молекулярной диагностике, уже более 1 тыс. и продолжает быстро увеличиваться. Созданы и постоянно совершенствуются все новые, эффективные и достаточно универсальные методы ДНК-диагностики, такие как метод полимеразной цепной реакции, автор которой американский химик К.Муллис отмечен Нобелевской премией<sup>5</sup>, метод блот-гибридизации, увековечивший имя его создателя Эд. Саузерна, и, наконец, метод ДНК-секвенирования (анализ первичной последовательности нуклеотидов в цепочке ДНК), разработанный дважды лауреатом Нобелевской премии Ф.Сенгером<sup>6</sup>.

Принципы ДНК-диагностики моногенных болезней, а также список наследственных заболеваний, доступных молекулярной диагностике в России, уже рассматривались в предыдущих публикациях<sup>7</sup>. Поэтому напомним лишь, что ДНК-диагностика в стране

проводится только в нескольких федеральных медико-генетических центрах Санкт-Петербурга, Москвы, Томска и пока касается наиболее частых, социально значимых наследственных болезней. Важно также подчеркнуть, что ДНК-методы позволяют не только выявлять генные болезни, но и бессимптомных гетерозиготных носителей мутаций и тем самым вести эффективную профилактику болезней в семьях высокого риска.

В целом проблема ДНК-диагностики генных болезней, равно как и хромосомных, по сути считается принципиально решенной. Ее дальнейший прогресс может касаться не только увеличения числа диагностируемых болезней, но и переноса основной тяжести исследований в ранний постнатальный период для выявления новорожденных на предрасположенность к полигенным заболеваниям, таким как атеросклероз, ишемия сердца, диабет, некоторые опухоли и нервно-психические заболевания. Интригующая своими перспективами и уже методически вполне реальная проблема «генетической паспортизации» новорожденных в настоящее время привлекает внимание многих генетиков<sup>8</sup>. Но это уже тема для другой статьи.

<sup>5</sup> Белянова Л.П. Лауреаты Нобелевской премии 1993 года. По химии — М.Смит и К.Муллис // Природа. 1994. № 1. С.104—110.

<sup>6</sup> Баев А.А. Лауреаты Нобелевской премии 1980 года. По химии — П.Берг, У.Гилберт, Ф.Сенгер // Природа. 1981. № 1. №.101—106.

<sup>7</sup> Баранов В.С. Молекулярная диагностика наследственных болезней // Природа. 1996. № 5. С.26—37; Он же. Самая современная терапия — генная // Природа. 1996. № 8. С.25—33.

<sup>8</sup> Ivanov V.I. Genetics and Environment in Common Diseases // Genetic Approaches to Noncommunicable Diseases. 1995. P.1—10; Баранов В.С. Ранняя диагностика наследственных болезней в России. Современное состояние и перспективы // Междунар. мед. обзоры. 1994. Т.2. № 4. С.236—243; Baranov V.S. Human Genome Research and Its possible Application to the Control of Genetic Disorders // Genetic Approaches to Noncommunicable Diseases. 1995. P.105—112.

## БИОХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

В последние годы удельный вес биохимических методов в пренатальной диагностике наследственных и врожденных болезней заметно снизился. Причина тому — решающие успехи в ДНК-диагностике, позволяющие анализировать сам ген, а не его продукты и, таким образом, дающие возможность диагностики на любых клетках плода, а не только на тех, где работает данный ген. Тем не менее биохимические методы широко применяются при диагностике врожденных дефектов нервной системы (определение  $\alpha$ -фетопротеина и ацетилхолинэстеразы в амниотической жидкости), при некоторых формах болезней обмена мукополисахаридов и лизосомальных белков и даже при диагностике муковисцидоза — самого распространенного моногенного заболевания.

Однако нельзя забывать, что по мере выяснения природы мутантного гена, понимания его функций и идентификации конкретного белка могут оказаться весьма эффективными прямые биохимические исследования (например, иммунохимический анализ белка дистрофина в миофибриллах при миодистрофии Дюшенна или анализ специфического белка в лимфоцитах при синдроме ломкой X-хромосомы). Есть основания считать, что более дешевые и доступные для массового использования биохимические методы найдут широкое применение в скрининге наследственных болезней.

\*

Таким образом, оценивая в целом состояние пренатальной диагностики в мире и в России, можно твердо сказать, что успехи в этой быстро развивающейся области медицинской генетики неоспоримы. Сегодня в нашей стране уже пройдены основные этапы: УЗИ-обследование бе-

ременных женщин; получение плодного материала на всех сроках беременности; выявление женщин групп высокого риска рождения детей с пороками развития; проблема эффективных методов диагностики хромосомных и генных болезней у плода. Вместе с тем для нас актуальными остаются такие вопросы, как: отсутствие программ по массовому скринингу маркерных эмбриональных белков в сыворотке крови беременных; отсутствие оперативных компьютеризированных регистров наследственных болезней; слабая медико-генетическая подготовка врачей; неэффективное медико-генетическое консультирование; плохая информированность врачей и населения страны, прежде всего женщин, о реальных возможностях пренатальной диагностики.

Неизвестны реальные потребности того или иного региона в молекулярной диагностике, в том числе и в пренатальной, даже тех заболеваний, для которых уже проводятся молекулярные исследования. Плохая осведомленность не только населения, но даже врачей, включая работников медико-генетической службы, о реальных возможностях пренатальной диагностики наследственных болезней в нашей стране зачастую ведет к досадным недоразумениям, когда семьи высокого риска, обратившись за помощью в зарубежные центры, получают рекомендацию провести необходимые исследования в России, где нужная им диагностика не только вполне осуществима, но и проводится бесплатно! Преодоление отмеченных недостатков, в значительной мере обусловленных недостаточным финансированием всей медицинской генетики и пренатальной диагностики, в частности, сыграет решающую роль в профилактике наследственных и врожденных болезней, в рациональном планировании семьи, в сохранении генофонда населения России.

## «Базальтовые окна» континентов

С. В. Аглонов



*Сергей Витальевич Аглонов, доктор геолого-минералогических наук, профессор. Ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П.Ширинова РАН. Директор Центра геодинамических исследований «Тетис». Заведующий кафедрой геофизики Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов — региональная геофизика и геодинамика. Неоднократно публиковался в «Природе».*

**П**ОНЯТИЕ о двух основных типах земной коры — океаническом и континентальном — общеизвестно. Перечислим лишь основные структурные различия между ними. Океаническая кора имеет малую мощность (5—7 км) по сравнению с континентальной (от 40 км и более). В ней отсутствует «гранитный» слой (так называют верхний слой консолидированной коры со скоростями продольных сейсмических волн 6—6.5 км/с), мощность которого в континентальной коре достигает 15—20 км. В связи с удаленностью источников сноса мощность самого верхнего осадочного слоя океанической коры, как правило, не превышает 1 км, в то время как для континентальной коры эта величина составляет в среднем 2.5 км.

Почти сразу после появления этой классификации стала ощущаться ее ущербность. Ни мощность коры в целом, ни мощность ее осадочного слоя в отдельности не могут быть аргументами для отнесения коры к одному или другому типу. В океанах есть области, где ее мощность резко увеличена — это подводные хребты, горы и плато. На континентах известны обширные участки, где осадочный слой отсутствует вовсе (щиты древних платформ). И наоборот, вблизи пассивных континентальных окраин типичная океаническая кора перекрыта мощными осадочными толщами.

Единственный признак, по которому может быть определен тип коры, — присутствие в ней «гранитного» слоя. Однако и эта классификация отчасти условна из-за того, что «гранитный» слой в континентальной коре иногда прослеживается нечетко или его вовсе не удается обнаружить. С

легкой руки геофизиков за такими участками закрепилось не вполне строгое, но образное название — «базальтовые окна».

В конце 50-х — начале 60-х годов, после проведения первых глубинных сейсмических зондирований и региональных гравиметрических съемок, на континентах и шельфах были обнаружены обширные впадины фундамента. Мощность осадочного чехла в их пределах оказалась столь значительной, что первоначально поддавалась лишь грубой оценке; позднее удалось установить, что она превышает 10—12 км, а в ряде случаев достигает 20 км и более. Интереснее всего, что в основании таких впадин (повторим, обнаруженных на материках и шельфах, т.е. в районах заведомо континентальных) залегает кора, близкая или идентичная по своим физическим параметрам океанической.

Примечательно, что уже в 1964 г. В.Е.Хаин высказал вполне определенное суждение о тектонической природе глубоких материковых прогибов, имеющих в основании такую кору: «...эти впадины минували геосинклинальную стадию развития<sup>1</sup> и из состояния океанической платформы непосредственно превратились в участки материковой платформы путем нарастания мощности осадочного покрова»<sup>2</sup>. Как показали позднейшие исследования, это суждение явилось примером поистине блестящего научного предвидения.

#### БАРЕНЦЕВО-КАРСКИЙ ШЕЛЬФ

На территории нашей страны крупнейшие «базальтовые окна» расположены в западном секторе Арктического шельфа, в фундаменте Баренцева и Карского морей. Им соответствуют крупнейшие осадочные бассейны: Северо- и Южно-Баренцевский, Северо-Новоземельский, Уединения и Южно-Карский. Глубина фундамента в них

достигает 18—20 км. На суше бассейны шельфа соединяются с известными нефтегазоносными бассейнами Западной Сибири и Тимано-Печорской провинции.

Освоение Баренцево-Карского шельфа началось сравнительно поздно: вспомним, что небольшие острова Карского моря появились на географических картах лишь в 30-х годах, после первых походов советских ледоколов по Северному морскому пути. В 60-е годы здесь были выполнены первые геофизические работы, сразу же показавшие уникальность геологического строения шельфа.

На сегодня Баренцево-Карский шельф представляется одним из перспективнейших нефтегазоносных регионов страны. Но вместе с тем освоение его ресурсов — весьма дорогостоящее мероприятие. Оно неизбежно потребует новых подходов, более совершенных и наукоемких, чем те, что применялись для прогноза нефтегазоносности на суше. Поэтому ключевым, фундаментальным вопросом остается тектоническая природа «базальтовых окон» шельфа, на которых накапливались мощные осадочные слои.

Мы продемонстрируем ниже серию результатов, касающихся глубинного строения Баренцево-Карского шельфа и проливающих свет на происхождение расположенных здесь глубоких осадочных бассейнов. Эти данные получены в 1993—1995 гг. геологами и геофизиками Центра геодинамических исследований «Тетис» (С.-Петербург). Часть разработки — плод сотрудничества с Кембриджской арктической шельфовой программой (Великобритания)<sup>3</sup>.

Кора Баренцево-Карского шельфа аномальна по своим параметрам. Прежде всего она экстремально тонка: мощность консолидированной коры (без осадочного чехла) изменяется от 10 км в бассейне Уединения до 15—20 км в Северо-Новоземельском бассейне-

<sup>1</sup> Стадия горообразования.

<sup>2</sup> Хаин В.Е. Общая геотектоника. М., 1964. С.212.

<sup>3</sup> Сотрудничество в изучении Арктики (интервью с Р.Скоттом и С.В.Аглоновым) // Природа. 1993. № 10. С.48—53.

не. Высокие скорости сейсмических волн говорят об отсутствии в ней «гранитного» слоя. Таким образом, по совокупности геофизических характеристик кору глубоких осадочных бассейнов Баренцево-Карского шельфа нельзя отнести к континентальной. Эти структуры определяются как «базальтовые окна».

Для количественной оценки плотности и, косвенно, состава коры есть мощное средство — совместная интерпретация сейсмических данных и гравитационных аномалий. Первые характеризуют структуру коры и ее отдельных слоев; вторые, помимо структуры коры, отражают латеральные вариации ее плотности.

Расчеты показали, что глубокие осадочные бассейны Баренцево-Карского шельфа подстилаются не только аномально тонкой, но и аномально плотной корой. Вычисленные значения плотности — до  $3 \text{ г/см}^3$  — свидетельствуют об океаническом типе коры «базальтовых окон».

В то же время на остальной части шельфа рассчитанная плотность консолидированной коры составляет  $2.6\text{--}2.8 \text{ г/см}^3$ , а мощность —  $30\text{--}40$  км. Это говорит о том, что за пределами «базальтовых окон» кора Баренцево-Карского шельфа имеет нормальный континентальный облик.

#### МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ ОКЕАНОВ

Почти одновременно с выделением на континенте первых «базальтовых окон» в океане было сделано открытие, которое теперь, по прошествии лет, бесспорно следует признать крупнейшим в геофизике XX в. В начале 60-х годов были обнаружены линейные (полосовые) магнитные аномалии Мирового океана и объяснена их природа.

Линейные магнитные аномалии (ЛМА) присутствуют во всех современных океанах. Они протягиваются на сотни километров параллельно осям срединно-океанических хребтов (СОХ), их важнейшие характеристики — знакопеременность и симметрия относительно гребней хребтов. Удалось пока-

зать, что положительные и отрицательные ЛМА связаны соответственно с прямо и обратно намагниченными базальтами верхней части океанической коры.

Суть же открытия состоит в том, что полосовая структура магнитных аномалий и намагниченности океанского дна — следствие единого геодинамического процесса: непрерывного спрединга (раздвижения) дна на фоне частых инверсий геомагнитного поля. Дно океана, подобно гигантской магнитфонной ленте, хранит информацию об инверсиях, которые носят глобальный характер и могут быть датированы независимо в разных местах земного шара, в том числе и на континентах.

С появлением модели Вайна—Метьюза (так, по имени авторов, была названа схема интерпретации ЛМА) геологи впервые получили возможность дистанционно определять возраст и скорость образования коры, причем коры тех областей, которые, во-первых, занимают две трети земной поверхности и, во-вторых, чрезвычайно труднодоступны для непосредственных наблюдений и отбора проб.

Как теперь хорошо известно (а впервые геологи узнали об этом благодаря все тем же ЛМА), океаническая кора, экспонированная сегодня на поверхности Земли, относительно молода — ее возраст не превышает среднеюрского ( $160\text{--}180$  млн. лет). Именно в этом возрастном диапазоне действовала модель Вайна—Метьюза. Но магнитологи, работавшие на континентах, давно установили, что инверсии геомагнитного поля происходили и раньше, в раннем мезозое, палеозое и, вероятно, в позднем докембрии. Значит, предполагая океанское происхождение «базальтовых окон», мы вправе ожидать, что их кора, подобно коре современных океанов, маркирована ЛМА.

До недавнего времени идея применить модель Вайна—Метьюза для «базальтовых окон» представлялась нереальной по нескольким причинам. Во-первых, считалось, что знакопеременная инверсионная намагниченность океанической коры должна быстро



Глубина фундамента



*Глубокие осадочные бассейны Баренцево-Карского шельфа.*

стираться со временем. За сотни миллионов лет в первично океанической коре появляются дополнительные источники магнитных аномалий, которые могут быть гораздо более мощными, чем первичный (к тому же изрядно «стертый») спрединговый сигнал. Поэтому, даже если последний сохранился, выделить его из суммарного магнитного поля удастся лишь с помощью сложных алгоритмов фильтрации и быстродействующих ЭВМ. Во-вторых, фундамент «базальтовых окон» погружен на глубины, значительно превышающие глубину океана. Как известно, чем дальше источник, тем менее интенсивна создаваемая им аномалия, тем труднее ее зафиксировать и отфильтровать из суммарного поля. В-третьих, для определения возраста ЛМА нужна надежная и независимая датировка инверсий геомагнитного поля. Для палеозоя шкалы

геомагнитной полярности составлены, однако, они, как правило, не слишком детальные и достоверны.

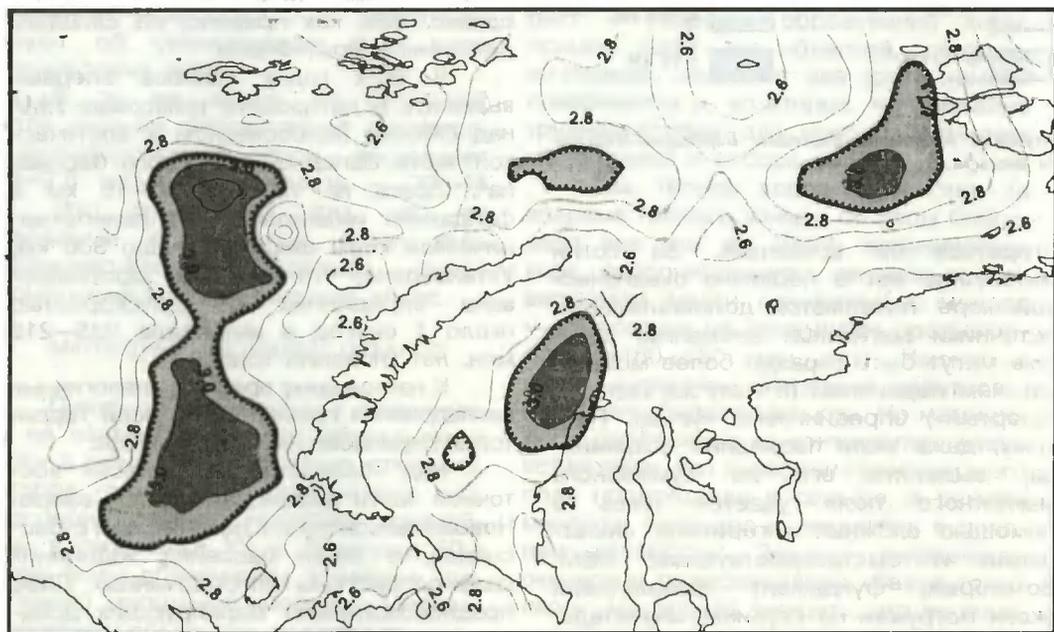
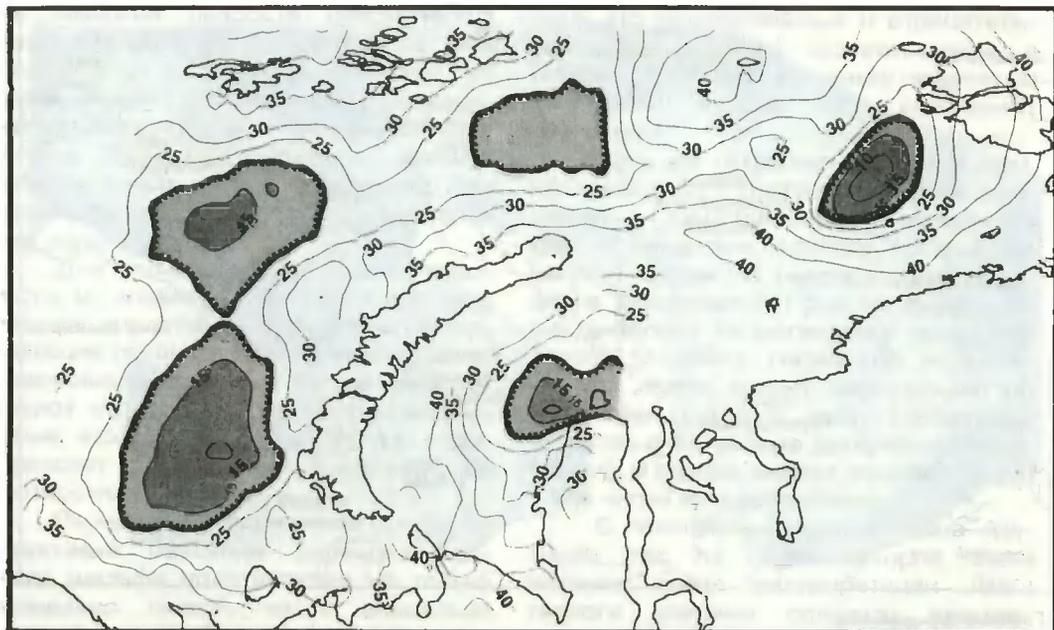
В 80-х годах удалось впервые выделить и датировать триасовые ЛМА над Обским палеоокеаном в арктической части Западно-Сибирского бассейна<sup>4</sup>. Здесь на глубине 10–15 км в фундамент «впечатан» блок палеоокеанической коры шириной около 300 км. Установлено, что эта кора сформирована спредингом с полускоростью около 1 см/год в интервале 235–218 млн. лет (поздний триас).

К настоящему времени аналогичные исследования проведены на всей территории Баренцево-Карского шельфа.

Над «базальтовыми окнами» восточной части Баренцева моря, Северо-Новоземельского и Южно-Карского бассейнов, а также бассейна Уединения развиты системы упорядоченных ЛМА, предположительно маркирующих древний спрединг<sup>5</sup>. В отличие от аномалий современных океанов такие аномалии имеют невысокую интенсивность: это объясняется как древностью палеоокеа-

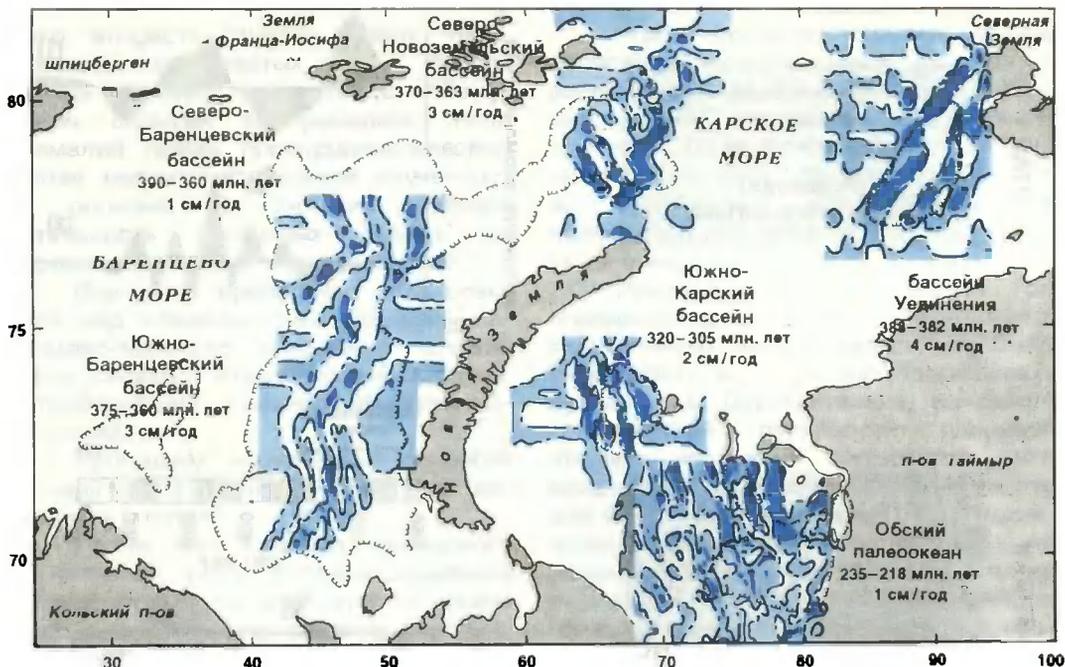
<sup>4</sup> Аплонев С.В. Обский палеоокеан // Природа. 1987. № 12. С.17–23.

<sup>5</sup> Аплонев С.В. Древняя океанская литосфера в фундаменте Арктического шельфа России // Природа. 1996. № 2. С.118–119.



**Параметры коры «базальтовых окон» Баренцево-Карского шельфа (по сейсмическим и гравиметрическим данным). Вверху — мощность коры между поверхностями фундамента и Махоровича, км; внизу — плотность фундамента,  $\text{г/см}^3$ .**

нической коры, так и огромной глубиной ее залегания под мощным чехлом осадочных слоев. В восточной части Баренцева моря и в Южно-Карском бассейне простираение ЛМА — меридиональное, в Северо-Новоземельском — северо-западное, а в бассейне Уединения — северо-восточное.



*Линейные магнитные аномалии над «базальтовыми окнами» Баренцево-Карского шельфа. Для каждого бассейна приведены параметры спрединга — временной интервал и полускорость.*

#### ВОЗРАСТ «БАЗАЛЬТОВЫХ ОКОН»

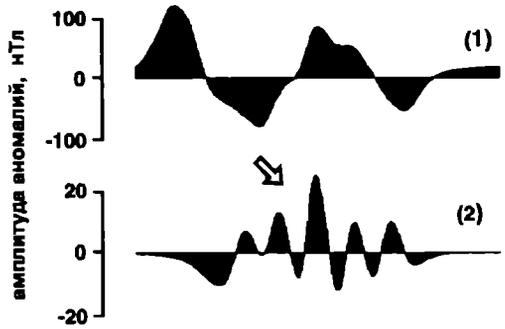
Присутствие ЛМА над «базальтовыми окнами» — веский аргумент в пользу их палеоокеанического происхождения. Но датировать аномалии (и тем самым определить возраст «базальтовых окон») — неизмеримо более сложная задача. Трудности применения модели Вайна—Метьюза уже рассмотрены выше. Добавим, что при датировке ЛМА в современном океане геофизики всегда имеют «точку отсчета» — современный центр спрединга на оси срединно-океанического хребта, кору с «нулевым возрастом», от которой ведется отсчет более древних ЛМА. Над «базальтовыми окнами» ЛМА развиты фрагментарно, нам не к чему привязаться — нет даже уверенности, что древний центр спрединга сохранился в небольшом фрагменте океанической коры, который когда-то был частью обширного океана, а потом

стал фундаментом глубокого осадочного бассейна.

В этом отношении Обский палеоокеан скорее исключение из правила. Во-первых, он так никогда и не развился до настоящего океана — его отмирание началось на Аденско-Красноморской стадии (уже не континентальный рифт, но еще не океан). После непродолжительного спрединга палеоокеан не закрылся — вся его кора сохранилась в гигантской клиновидной трещине, ставшей позднее «ядром» Западно-Сибирского осадочного бассейна. Во-вторых, в самой южной части этой трещины базальтовое дно Обского палеоокеана все же вскрыто небольшим числом скважин и датировано независимыми методами. Триасовый возраст базальтов дал «точку отсчета» при идентификации ЛМА над «базальтовым окном» Западной Сибири. В-третьих, этот период — относительно хорошо изученный интервал на шкале геомагнитной полярности и, кроме того, — интервал частых инверсий магнитного поля. Понятно, что если спрединг происходит в период отсутствия инверсий, то над океанической корой соответствующо-

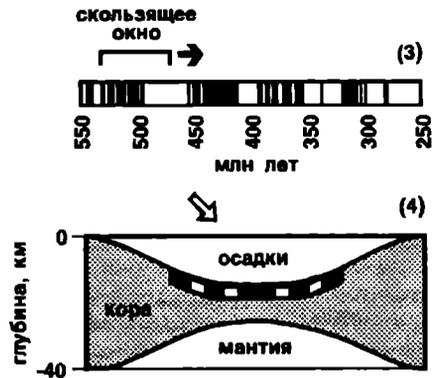
ЭТАП I

Фильтрация  
суммарного  
магнитного поля (1)  
Выделение  
спредингового сигнала (2)



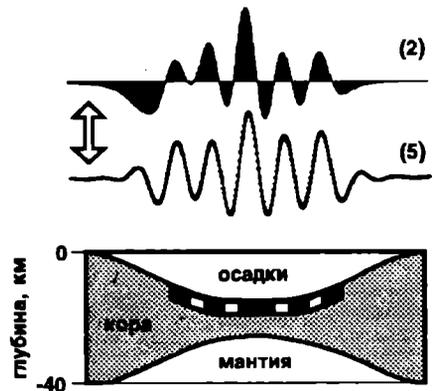
ЭТАП II

Поиск вероятного  
интервала спрединга  
на шкале геомагнитной  
полярности палеозоя (3)  
Сопоставление модели  
магнитноактивного слоя (4)



ЭТАП III

Сопоставление  
спредингового сигнала (2)  
с рассчитанным по модели  
полем (5)



ЭТАП IV

Определение параметров  
древнего спрединга



время,  
млн лет



скорость,  
см/год

щего возраста тщетно искать ЛМА. Наконец, в-четвертых, при прочих равных условиях вероятность обнаружения скрытых в суммарном поле аномалий прямо пропорциональна качеству магнитометрической изученности региона. В Западной Сибири детальность магнитных съемок на порядок выше, чем над шельфом.

Все это превратило датировку ЛМА над «базальтовыми окнами» Баренцево-Карского шельфа в чрезвычайно сложный итерационный процесс, потребовавший огромных объемов вычислений.

Процедура определения возраста «базальтовых окон» состояла из нескольких этапов.

После того, как из суммарного магнитного поля отфильтровывался «спрединг-овый сигнал» (этап I), нужно было подобрать для каждого бассейна такую модель магнитоактивного слоя, рассчитанное поле которой наилучшим образом соответствовало бы отфильтрованному. Для этого по шкале геомагнитной полярности палеозоя (временной интервал 550—250 млн лет) перемещалось скользящее окно, и для каждого положения окна попадающие в него интервалы прямой и обратной полярности геомагнитного поля трансформировались в модель магнитоактивного слоя — набор блоков с прямой и обратной намагниченностью, помещенный в фундаменте осадочного бассейна (этап II).

Ширина каждого блока в модели пропорциональна скорости спрединга; при расчетах последовательно перебирались все возможные скорости, характерные для современных океанов. Для каждой модели рассчитывалось магнитное поле, которое сопоставлялось со «спрединг-овым сигналом» (этап III). То время (интервал шкалы геомагнитной полярности) и та скорость спрединга, для которых модель магнитоактивного слоя давала наилучшее соответствие рассчитанных ЛМА и «спрединг-ового сигнала», принимались в качестве оптимальных параметров древнего спрединга, сформировавшего фундамент «базальтовых окон» (этап IV).

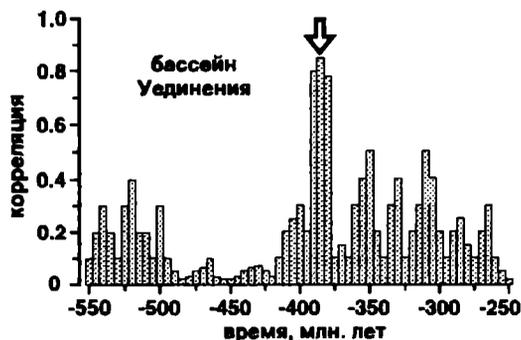
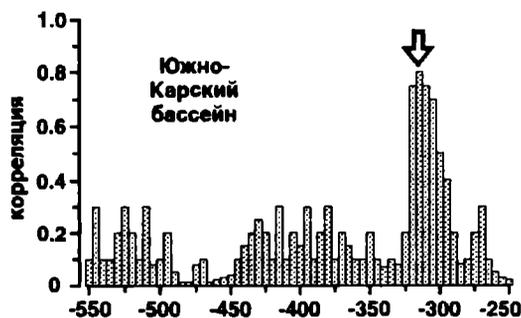
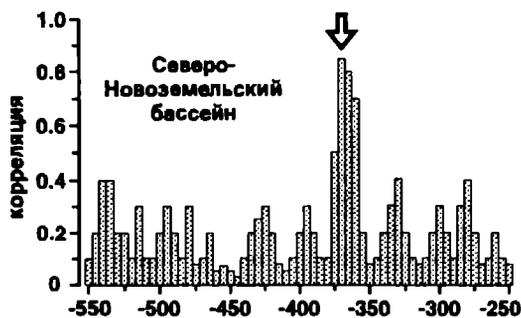
Чтобы реальнее ощутить объем вычислений, необходимых при датировке ЛМА над «базальтовыми окнами», укажем, что выполнение описанной выше процедуры только лишь для одного бассейна состояло примерно из 100 000 (!) итераций. Однако полученный результат с лихвой окупил затраченные силы.

Признаться, когда работа по определению возраста «базальтовых окон» только планировалась, не было уверенности в получении однозначных результатов. Действительно, на шкале геомагнитной полярности палеозоя столько «похожих» интервалов, что казалось маловероятным определить для каждого «базальтового окна» единственный возраст. Однако на результирующих диаграммах четко видно, что для всех без исключения «базальтовых окон» Баренцево-Карского шельфа корреляция между рассчитанными и отфильтрованными ЛМА в оптимальных интервалах значительно выше, чем за их пределами.

Удалось подтвердить тектоническое единство восточной части Баренцево-Карского и северной части Карского шельфов. В основании расположенных здесь глубоких осадочных бассейнов (Северо- и Южно-Баренцево-Карского, Северо-Новоземельского и Уединения) залегает океаническая кора девонского возраста. Вероятно, ранее она принадлежала раннемезозойскому океану Япетус или его окраинным морям. При закрытии Япетуса большая часть его литосферы субдуцировала, и лишь незначительные по размерам палеоокеанские блоки сохранились в зазорах между сталкивающимися континентами.

В Южно-Карском бассейне палеоокеаническая кора имеет более молодой каменноугольный возраст. Она, по-видимому, реликт Уральского океана, разоблаченного в течение почти всего палеозоя Евразии, Сибирь и Казахстан.

Таким образом, Баренцево-Карский шельф разделяется как минимум на две крупные тектонические области, сформировавшиеся при закрытии раз-



*Возраст и параметры спрединга палеоокеанической коры в «базальтовых окнах» Баренцево-Карского шельфа. На диаграммах — корреляция между рассчитанными и отфильтрованными ЛМА. Пики с максимальной амплитудой (показаны стрелками) на каждой диаграмме соответствуют оптимальным интервалам спрединга.*

ных океанов — Япетуса и Уральского. Столкновение континентов в арктическом секторе оказалось неполным, что дало возможность сохраниться небольшим блокам палеоокеанической коры в том сложном, гетерогенном и гетерохронном тектоническом коллаже, который сегодня мы называем фундаментом Баренцево-Карского шельфа.

В геологической летописи Земли история отдельного океана — явление в известной степени эфемерное. С само-

го момента рождения океаническая литосфера несет в себе зачатки отмирания. Кристаллизуясь из астеносферы, она становится плотнее и тяжелее того субстрата, на котором плавает. По достижении возраста примерно 150 млн. лет (это, как уже говорилось, близко к максимальному возрасту коры современных океанов), океаническая литосфера в конечном итоге субдуцирует — погружается на переделку в мантию. В тылу зон субдукции, над погружающимися в мантию пластинами океанической литосферы, растут островные дуги

— зародыши континентальной коры. Этот глобальный мантийный массообмен приводит к раскрытию одних и закрытию других океанов; и в то же время — к однонаправленному росту объема континентальной литосферы.

Но природа всегда сложнее схем, ее описывающих. Оказалось, что литосфера древних океанов не вся и не всегда бесследно исчезает в зонах субдукции. В теле сегодняшних континентов зияют бреши, участки древней океанической литосферы — «базальтовые окна». Они маркируют те швы, вдоль которых когда-то закрылись обширные океаны, а позднее заложилась глубокие осадочные бассейны. Сквозь многокилометровые толщи осадков над этими бассейнами «просвечивают» геофизические характеристики древней океанической коры, в том числе самая яркая из них — линейные магнитные аномалии, позволяющие оценить возраст «базальтовых окон».

Разумеется, все то, о чем шла речь в статье, — геофизическая модель, ни в коей мере не претендующая на однозначность. Любые геофизические построения по сути своей абстрактны; их выводы почти никогда не удовлетворяют «классического» геолога. Но по большому счету цель геофизики как раз и состоит в том, чтобы получить предварительное представление о тех объектах, которые не удастся «потрогать руками». Пока же есть все основания надеяться, что будущее разностороннее изучение «базальтовых окон» континентов даст ключ к познанию тектонической эволюции не только арктического шельфа России, но и многих других осадочных бассейнов мира.

**Исследования финансировались грантом R6L000 Международного научного фонда Дж. Сороса.**

## КОРОТКО

Поощрительный грант в 50 тыс. долл. предоставлен Метеорологическому исследовательскому центру в Хьюстоне (штат Техас, США) на создание метеорологического музея. Он станет первым в мире учреждением, где посетители смогут не только ознакомиться с экспозицией по истории метеорологии, но и получить информацию как справочного характера, так и о правилах поведения в экстремальных погодных условиях: при ураганах, грозах, торнадо, наводнениях. Намечено открыть учебные помещения для школьников и туристов; в компьютерных классах посетители смогут наблюдать за развитием си-

ноптических ситуаций, в частности проследить зарождение и траекторию урагана, а по мере его приближения предложить свои меры защиты. В телестудии можно дать собственный прогноз погоды. В составе музея организуется библиотека с банком метеоданных, доступных широкой публике и учащимся старших классов.

Bulletin of American Meteorological Society. 1995. V.76. № 11. P.2261 (США).

Активные выступления в Эквадоре общественной группы «Аркойрис» с протестом против строительства шахт в Национальном

парке Подокапус, самом известном в стране, были поддержаны Национальной федерацией охраны живой природы США. В итоге Всемирный банк отказался от участия в программе по добыче золота, а правительство Эквадора ликвидировало выданное крупным горнодобывающим компаниям разрешение на проведение ими работ на территории парка. Совместно с правительством группа «Аркойрис» обязалась принять участие в решении проблемы по трудоустройству сотен шахтеров в местах, где их деятельность будет меньше влиять на состояние окружающей среды.

International Wildlife. 1995. V.25. № 2. P.25 (США).

# Проект AMANDA

**А. А. Комар,**

доктор физико-математических наук  
Москва

**С**РЕДИ обсуждаемых и разрабатываемых в последние годы методов регистрации высокоэнергетических нейтрино, приходящих на Землю из космоса, внимание специалистов недавно привлек оригинальный проект AMANDA, опирающийся на использование необычных свойств антарктического льда на больших глубинах.

Содержание проекта AMANDA и первые шаги на пути его реализации излагаются ниже в предлагаемой читателю небольшой заметке, переведенной из журнала «CERN COURIER» (1996. № 1). Важно отметить, что при всем своеобразии проект AMANDA по сути восходит к идее, высказанной много лет назад (в конце 50-х годов) ныне покойным академиком М.А.Марковым. Он предложил регистрировать нейтрино высоких энергий путем детектирования черенковского излучения, которое генерируется быстрыми заряженными частицами в глубоких толщах воды или в водных резервуарах, расположенных глубоко под землей. Естественно, что речь идет о быстрых заряженных частицах, возникающих в актах взаимодействия нейтрино с ядрами молекул воды, а порождаемое ими излучение и есть сигнал прихода нейтрино. Обратил внимание на важную роль в этом случае наличия прозрачной среды (воды) для

сбора черенковского излучения. В проекте AMANDA аналогичную роль играет антарктический лед, приобретающий при больших давлениях (глубинах) свойство прозрачности.

Требование глубинного расположения водных объемов было связано в исходной идее Маркова с очевидным стремлением уменьшить фон от быстрых частиц, порождаемых в воде обычными космическими лучами, которые частично проникают под землю (или под воду). Ясно также, что большие толщи вещества не являются препятствием для слабо взаимодействующих и потому глубоко проникающих нейтрино. Это обстоятельство становится особенно наглядным, если обсуждать постановки экспериментов по регистрации нейтрино, идущих снизу вверх (из нижней полусферы), т.е. тогда, когда экран — вся толща земного шара. Наконец, вода представляет собой достаточно удобное, прозрачное, естественное вещество для мишени. Располагая в ней необходимое количество фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), можно создавать мишени огромных масс и объемов, столь необходимые для регистрации слабо взаимодействующих нейтрино. Все эти базовые элементы присутствуют и в проекте AMANDA.

Изложенная выше идея Маркова была подхвачена в начале 60-х годов научным сообществом физиков и широко обсуждалась как в нашей стране, так и за

рубежом. У нее были и другие аспекты, связанные с подземными экспериментами, но не предполагающие использования водных детекторов. Но они остаются за рамками обсуждаемой темы<sup>1</sup>. Важно подчеркнуть, что все реально возникшие в мире в 80-е и последующие годы установки по регистрации нейтрино с использованием воды в качестве детектирующей среды в сущности являются воплощением исходной идеи Маркова.

Первоначально были созданы установки на базе размещенных под землей огромных искусственных водных резервуаров — IBM, 8000 т (США), KAMIOKANDE, 3000 т (Япония). Наивысшее достижение в этом направлении — пуск в апреле 1996 г. установки SUPERKAMIOKANDE с массой 30 000 т. Использование океанических глубин в силу технических трудностей началось позднее, в середине 80-х годов. В частности, физики США в Тихом океане, в районе Гавайских островов, начали пробные эксперименты по проекту DUMAND. К сожалению, по ряду причин они были остановлены. В нашей стране примерно в те же годы на оз. Байкал под эгидой Института ядерных исследований РАН (Москва), создан

<sup>1</sup> Подробнее см.: Домогацкий Г.В., Комар А.А., Чудаков А.Е. Подземные и подводные эксперименты в физике и астрофизике // Природа. 1989. № 3. С.22.

ного по инициативе Маркова в 1970 г., были развернуты работы по сооружению Байкальского подводного нейтринного телескопа (БПНТ). Мощность его (количество подвешенных на тросах ФЭУ и просматриваемый ими объем) постепенно наращивалась и сейчас эквивалентна водному детектору массой примерно в 300 000 т. Телескоп уже ведет регулярные измерения.

Мощность установки AMANDA, описанная в заметке Ело данным сезона 1993/94 г., формально того же порядка (около 200 000 т) с той существенной разницей, конечно, что эта установка не работала, так как лед был непрозрачен. В сезоне 1995/96 г. ее мощ-

ность технически выросла примерно раз в пять. Важное отличие, однако, состоит в том, что в последнем сезоне ФЭУ уже были размещены на глубинах 1500—2000 м, и на этих глубинах была, наконец, достигнута ожидаемая прозрачность льда. Так что установка AMANDA сейчас проходит стадию настройки.

Говоря об удивительных свойствах антарктического льда, может быть, стоило упомянуть еще об одной интересной возможности регистрации нейтрино. Дело в том, что при очень низких температурах (ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ ) лед прозрачен также и для радиоволн в дециметровом диапазоне. А группы быстрых заряженных частиц, рождающиеся в актах взаимодейст-

вия нейтрино с веществом, являются источником слабого радиоизлучения как раз этих длин волн. Поэтому оказывается возможным с помощью радиоантенн фиксировать очень редкие события взаимодействия высокоэнергетичных нейтрино с ядрами молекул воды. Поскольку радиоизлучение при этом ослабляется на расстояниях порядка 1 км, прослушивая с помощью радиоантенн антарктический лед, можно осуществить работу с мишенями массой около миллиарда тонн. Это открывает исключительные перспективы для поиска очень редких событий с участием нейтрино. Соответствующий проект RAMAND также разрабатывается в Институте ядерных исследований РАН

## AMANDA на Южном полюсе: антарктические нейтрино

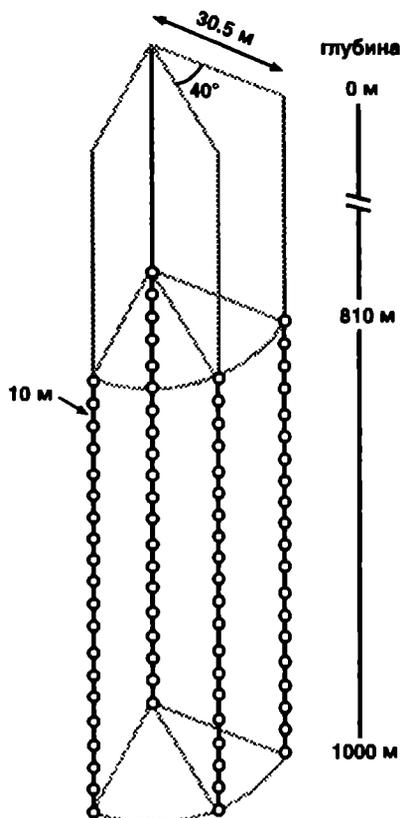
Л. Бергстром, Г. Рубинштейн  
Стокгольм, Швеция

**КАК ПОКАЗАЛИ** наблюдения сверхновой 1987 г., нейтринная астрономия — захватывающая область исследований, обещающая дать уникальную информацию об энергетических процессах, которые происходят глубоко в недрах звезд и галактик.

Большинство «нейтринных телескопов», проектируемых или действующих сегодня, основано на принципе детектирования излучения Вавилова—Черенкова. Когда быстрая частица проходит через оптически прозрачную среду, внутри конуса, ось которого совпадает с направлением движения, распространяется черенковское излучение; угол между образующей конуса и осью при этом определяется скорос-

тью частицы и показателем преломления среды. Появление черенковских фотонов, которые регистрируются фотоэлектронными умножителями (ФЭУ), окружающими объем, свидетельствует об акте взаимодействия нейтрино, сопровождающемся рождением быстрых частиц; причем в ряде случаев удается определить направление прилета нейтрино.

Проблема нейтринной астрономии заключается в очень низкой скорости детектирования, и поэтому объем, где ведется поиск, должен быть как можно больше. Чтобы уменьшить фон от радиоактивных распадов, от мюонов, которые генерируются во взаимодействиях космических лучей с ядрами атомов, содержащихся в атмосфере, детекторы размещают как можно глубже (часто — в шахтах) и



*Существующий ныне детектор AMANDA установлен в 1993—1994 гг. в ледяном щите на Южном полюсе. Четыре цепочки содержат по 20 ФЭУ на глубинах от 800 до 1000 м; за ними в 1995—1996 гг. последует размещение шести дополнительных цепочек, проникающих вглубь еще на 1000 м.*

предпринимают меры для снижения радиоактивного фона. Это делает устройства довольно дорогими и ограничивает реальный размер подземного детектора. С другой стороны, могут существовать источники нейтрино с гораздо большими энергиями, но с потоками настолько слабыми, что для их регистрации не хватает чувствительности современного поколения подземных водяных черенковских детекторов.

Все это привело к поиску альтернативных путей в конструировании детекторов нейтрино высоких энергий. Один из путей увеличения эффектив-

ной площади — использование больших объемов природной воды в качестве среды и регистрация высокоэнергетических мюонов, рожденных в реакциях взаимодействия нейтрино с нуклонами молекул воды (заряженные токи). Поскольку мюоны обладают высокой проникающей способностью, приборы могут засечь их даже на большом расстоянии от места рождения.

Один из пионерских экспериментов подобного рода — DUMAND (Deep Underwater Muon And Neutrino Detector — глубоководный детектор мюонов и нейтрино), развертывание которого запланировано в Тихом океане вблизи Гавайских островов. Совокупность ФЭУ, образующих вертикальные цепочки, были погружены в воду на глубину нескольких километров, где фон атмосферных мюонов мал. После короткого периода сбора данных на прототипе 1993 г. дальнейшие испытания детектора были отложены из-за технических проблем.

В настоящее время проводится эксперимент на Байкале: четыре цепочки, содержащие по 12 ФЭУ, и одна из 24 ФЭУ размещены на глубине 1100 м и ведут регистрацию. Однако до сих пор не получено достоверного сигнала от нейтрино<sup>1</sup>.

В Швеции в 1991—1992 гг. рассматривались проекты создания подобного детектора в одном из чистых природных озер севернее Полярного круга. Однако сезонные изменения качества воды заставили отказаться от этой идеи, и шведская группа в конце 1992 г. решила присоединиться к новому эксперименту AMANDA.

Эксперимент AMANDA (Antarctic Muon And Neutrino Detector Array — система детекторов антарктических мюонов и нейтрино) в настоящее время — плод сотрудничества лабораторий Беркли и DESY; университетов Ирвайна, Стокгольма, Уппсалы и Висконсина. В нем в качестве среды для детектирования черенковского излуче-

<sup>1</sup> В сезоне 1996 г. в эксперименте на оз. Байкал число ФЭУ в установке доведено до 96. Отмечены первые 10 случаев регистрации нейтрино. — Прим. ред.

ния используется чистый лед из глубинных слоев ледяного щита Антарктиды. Лед имеет ряд преимуществ: он обладает очень низкой радиоактивностью (в противоположность океаническим водам, которые содержат радиоактивный изотоп калия) и низкой биолюминесценцией (в отличие от вод Байкала), а также обеспечивает механическую опору для размещения цепочек ФЭУ. Кроме того, на Южном полюсе действует хорошо оборудованная база с развитой инфраструктурой (под эгидой Американского национального научного фонда).

Льды на Южном полюсе возникли из спрессованного снега, который накапливался многие сотни тысяч лет. Твердый поверхностный слой на глубинах нескольких сотен метров превращается в лед, содержащий пузырьки воздуха. На этих глубинах свет, рассеянный воздушными пузырьками, очень затрудняет реконструкцию трека. Глубже происходит интересная метаморфоза: молекулам воды становится энергетически выгодно диффундировать в эти пузырьки, образуя при этом насыщенный воздухом гидрат, который прозрачен и имеет практически тот же показатель преломления, что и сам лед.

В такой «беспузырьковой» среде свет распространяется почти прямолинейно, что позволяет детектировать мюоны методом регистрации черенковского излучения. В частности, особое значение имеют черенковские фотоны от мюонов, летящих вверх, поскольку эти мюоны должны возникать при нейтринных взаимодействиях в объеме льда, контролируемого ФЭУ, или ниже этого объема.

Антарктическим летом 1993/94 г. детектор-прототип, состоящий из четырех цепочек по 20 ФЭУ в каждой, был смонтирован на научной станции Скотта—Амундсена на Южном полюсе. С технической точки зрения операция была проведена очень успешно: только несколько из 80 ФЭУ не заработали после размещения их на глубине 800—1000 м (все остальные приборы продолжают действовать).

Система лазерной калибровки, первоначально предназначавшаяся для

точного позиционирования оптических модулей, позволила изучить оптические свойства льда на этих глубинах. Импульсный лазерный луч подводился по световодам к диффузным нейлоновым сферам рядом с модулями. Комбинируя различным образом передающие и принимающие модули, можно было оптически исследовать большие части объема детектора.

В сезон 1994/95 г. лазерная система была усовершенствована таким образом, чтобы можно было использовать свет с разной длиной волны. Результаты этих экспериментов оказались совершенно неожиданными. С одной стороны, сразу стало ясно (и это плохо для излагаемой здесь идеи детектора), что переход пузырьки—гидрат, в отличие от теоретических предсказаний специалистов по химии льда, не заканчивается на глубине 1000 м. Из свежих данных по материковому льду российской базы Восток в Антарктиде следует, что пузырьки исчезают на глубине примерно 1200 м. Поэтому выше лед на просвет имеет молокообразный вид, что препятствует реконструкции треков мюонов методом Черенкова. С другой стороны (и это хорошо для данной идеи), измерения показали, что между пузырьками лед невероятно чист — намного чище любых его образцов, когда-либо полученных в лабораторных условиях. Вполне возможно, что лед на Южном полюсе — чистейшее из твердых веществ, естественным образом возникших на Земле. Хотя уже существующая совокупность детекторов системы AMANDA может использоваться вместо реконструкции трека единичного мюона для регистрации других физических процессов (например, каскадов, рожденных очень высокоэнергетичными частицами), задачей сезона 1995/96 г. является проход в глубину настолько далеко, чтобы воздушные пузырьки перестали мешать. Новый бур на горячей воде делает возможным размещение цепочек детекторов на глубинах до 2000 м. Несколько цепочек было установлено на месте к февралю 1996 г., и уже сейчас проводится определение свойств льда и поиск нейтринных

реакций. Хотя больше не должно быть проблем с пузырями воздуха, можно натолкнуться на области пылевых загрязнений (связанных с изменением климата за годы образования льда). Прежде чем ввести в действие крупномасштабный детектор, необходимо провести детальное изучение оптических свойств льда, и это — одна из основных задач нового сезона. Если все пойдет по плану, AMANDA сможет скоро приступить к поиску летящих вверх мюонов — ключевых для понимания многих интересных феноменов.

Среди наиболее интересных из возможных источников — активные галактические ядра, одни из мощнейших объектов во Вселенной. Многие детали еще не известны, но принято считать, что за ними кроются массивные черные дыры (с массой порядка  $10^8 M_\odot$ ) в центре галактик. Они эффективно преобразуют гравитационную энергию вещества, аккрецирующего на черную дыру, в излучение. В турбулентных ударных областях, которые, по современным представлениям, окружают черную дыру, частицы могут ускоряться до гигантских энергий посредством механизма, предложенного Э.Ферми. Благодаря процессу случайных блужданий, когда частицы много раз проходят через ударную область и изменяют скорость и направление движения под действием окружающих нерегулярных магнитных полей, они приобретают очень высокие энергии, возможно, в несколько ПэВ ( $1 \text{ ПэВ} = 1000 \text{ ТэВ} = 10^{15} \text{ эВ}$ ).

Если протоны ускорятся таким образом, велика вероятность присутствия нейтрино в результате распадов ультрарелятивистских пионов, так как пионы будут в большом количестве рождаться при взаимодействии протонов с плотным фотонным газом, окружающим, как известно, ядро галактики. Поэтому в случае обнаружения нейтрино с энергией в сотни ТэВ, прилетающих со стороны известных активных галактических ядер (подобно ядру Маркарян 421, которое испускает высокоэнергетические  $\gamma$ -кванты), можно было бы получить представление о механизмах ускорения космических

лучей самых высоких энергий.

Вероятно, существует также и изотропная, «диффузная» компонента нейтрино высоких энергий, создаваемая всеми активными галактическими ядрами во Вселенной. Хотя оценки возможных потоков нейтрино дают очень неопределенный результат, AMANDA могла бы в год детектировать десятки событий, основываясь на измеренном потоке  $\gamma$ -квантов.

Высокоэнергетичные нейтрино могут также дать ключ к разгадке тайны темной материи. Возможно, наиболее перспективный кандидат на роль темной материи в галактических гало — самая легкая суперсимметричная частица. Так как она стабильна (в соответствии с большинством моделей), она должна была бы сохраниться как реликт со времен Большого Взрыва. Если такие частицы присутствуют в галактическом гало, они должны были бы захватываться в центре Земли или Солнца благодаря рассеянию и гравитационной аккумуляции. Там они бы аннигилировали друг с другом, порождая обычные частицы, которые — за исключением нейтрино — никогда бы не покинули область, где они родились.

Нейтрино (типичная энергия которых эквивалентна некоторой доле массы частицы темной материи, т.е. лежит в интервале  $10 \text{ ГэВ} - 1 \text{ ТэВ}$ ) благодаря своей большой проникающей способности покинули бы область аннигиляции и могли бы быть зарегистрированы нейтринным телескопом типа AMANDA. Сигнал от высокоэнергетичных нейтрино, идущих из центра Солнца или Земли, был бы безошибочным подтверждением реальности таких процессов.

Небо никогда ранее не наблюдалось в «лучах» нейтрино высоких энергий. Исторически так случилось, что, когда во Вселенную открывались новые окна, удавалось получать совершенно неожиданные результаты. Благодаря эксперименту AMANDA эра нейтринной астрофизики может войти в новую захватывающую фазу.

© Перевод с английского К.Л.Сорокиной

## Кыргызы

Ю. С. Худяков

Тюркская этнолингвистическая общность ныне включает в себя множество народов, стоящих на разных ступенях культурного, экономического и социального развития. Одни из них сохранили языческую веру своих пращуров, другие приняли буддизм, ислам, христианство. Большинство нынешних тюркских народов проживает на территории России и стран СНГ: якуты, тувинцы, шорцы, хакасы, татары, туркмены, казахи, каракалпаки, кыргызы, узбеки, башкиры, чуваша, кумыки, карачаевцы, балкарцы, азербайджанцы, гагаузы и др.

История тюрков сложна, противоречива и во многом драматична. За последние две тысячи лет неоднократно возникали и рушились великие тюркские кочевые империи, расходились волна за волною во все стороны Евразии тюрко-монгольские племена, приводя к радикальным переделкам этнической карты Азии и Восточной Европы. Случалось так, что одни тюркские народы, возвысившись над другими, вскоре сгорали в огне междоусобных смут и жестоких стихийных бедствий, другие растворялись в ино-родной этнической среде, давая жизнь новым племенам и народам, третьи, вдруг состав из безвестности, возлагали на себя венец особой исторической предназначенности и долгие годы поражали мир своим могуществом, величием и жизненной силой.

Все эти победы и поражения, взлеты и падения в полной мере выпали на долю кыргызов — одного из наиболее известных древних тюркских народов.



*Юлий Сергеевич Худяков, доктор исторических наук, профессор, главный научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН. Область научных интересов — этнокультурная и военная история древних и средневековых кочевников Центральной Азии. Работал в экспедициях на территории Хакасии, Тувы, Алтая, Монголии, Кыргызстана, Китая. В числе монографий: «Вооружение енисейских кыргызов VI — XII вв.» (Новосибирск, 1980); «Кыргызы на Табате» (Новосибирск, 1982); «Вооружение центральноазиатских кочевников в эпоху раннего и развитого средневековья» (Новосибирск, 1991).*

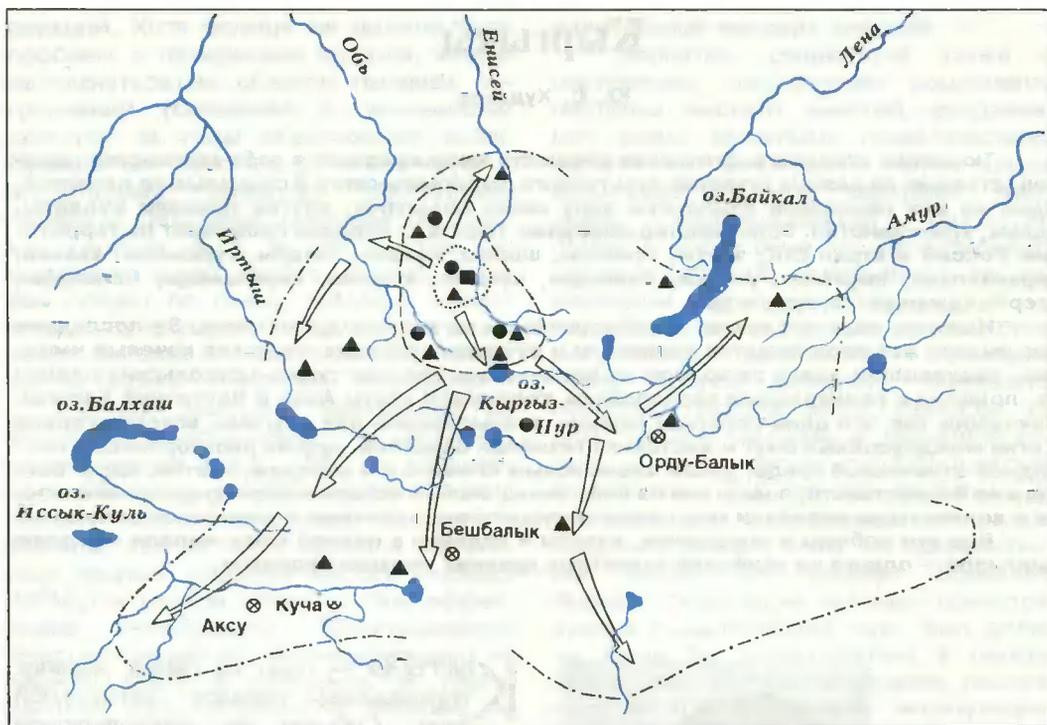
**К**ЫРГЫЗЫ — один из самых древних тюркоязычных народов Центральной Азии. События их этнокультурной истории имеют важное значение для понимания этногенетических процессов, приведших к сложению многих современных тюркских и монгольских народов.

Впервые кыргызы упоминаются в конце III в. до н.э. в китайских источниках. Последующие века их бурной, полной драматизма истории наполнены борьбой с кочевыми державами хуннов, жужаней, тюрков, суйяньто, уйгуров, киданей, монголов за самостоятельное существование. В IX в. наступил звездный час истории кыргызов, названный академиком В.В.Бартольдом «кыргызским великодержавием»<sup>1</sup>. Разгромив уйгуров, кыргызские войска завоевали степные просторы Центральной Азии и расширили границы Кыргызского каганата от сибирской тайги до Тянь-Шаня и Ордоса.

Продвижение с востока монгольских племен разделило кыргызский этнический массив на две группы — восточнотуркестанскую и саяно-алтайскую. В XIII в. обе группы оказались в подчинении у монголов. Кыргызские

© Худяков Ю.С. Кыргызы.

<sup>1</sup> Бартольд В.В. Сочинения. М., 1963. Т. II. Ч. I. С. 489.



- — Памятники VI—VIII вв.
- ▲ — Памятники IX—X вв.
- — Памятники XI—XIV вв.
- ↗ — Походы кыргызов в IX—X вв.
- — Границы кыргызской культуры в VI—XIV вв.
- ⊗ — Древние города

*Карта распространения археологических памятников кыргызской культуры в VI—XIV вв.*

отряды несли военную службу на территории Монголии, Маньчжурии и Китая, участвовали в междоусобных войнах чингизидов.

В XV в. кыргызы из Восточного Туркестана (с территории современной китайской провинции Синьцзян) переселились на Западный Тянь-Шань, составив этническую основу современного кыргызского народа.

На территории Южной Сибири кыргызы попали в зависимость от халха-монголов и джунгаров. В начале XVIII в. джунгары под давлением русских увели енисейских кыргызов в Джунгарию. После разгрома Джунгарского ханства маньчжурами часть кыргызов была

переселена в Маньчжурию, часть бежала с калмыками в Восточную Европу.

Жизнь этого кочевого народа в древности, памятники средневековой культуры енисейских кыргызов, богатый фольклор современных кыргызов уже длительное время привлекает внимание ученых разных стран. Многие вопросы этнокультурной истории кыргызов составляют предмет острых научных дискуссий. Решение сложных проблем кыргызской истории имеет важное значение для осмысления судеб всей кочевой цивилизации Центральной Азии.

#### ДРЕВНИЕ КЫРГЫЗЫ

Древний период истории кыргызов с конца III в. до н.э. по V в. н.э. остается малоизученным. Сведения китайских источников очень лаконичны. Известно, что в 201 г. до н.э. кыргызы были покорены основателем хуннской державы шаньюем<sup>2</sup> Моде.

Длительное время считалось, что древние кыргызы обитали на террито-

<sup>2</sup> Шаньюй — «высочайший»; титул правителя хуннов.

рии северо-западной Монголии, в районе оз. Кыргыз-Нур, откуда под натиском хуннов переселились на Енисей, где смешались с динлинями. С племенами динлинов археологи связывали тагарскую культуру, которая существовала в Минусинской котловине на протяжении I тысячелетия до н.э., а с древними кыргызами — таштыкскую культуру, существовавшую в первой половине I тысячелетия н.э. Однако внимательный анализ сведений из китайских источников показал, что древние кыргызы жили на территории современного Синьцзяна, на землях к северу от хребта Боро-Хоро, входящего в горную систему Восточного Тянь-Шаня<sup>3</sup>. По соседству с кыргызами обитали племена усуней, канпов и группа племен динлинов, населявших обширные территории Центральной Азии. После крушения хуннской державы эти племена попали в зависимость от сяньби, а затем — от жужаней. В V—VI вв., во время ожесточенных войн между жужанями и западными динлинями, известными также под именами гаогюй и теле, кыргызы примкнули к последним и частично перемешались с ними.

В источниках нет каких-либо сведений об особенностях кыргызской культуры того далекого периода. Однако при описании кыргызов раннего средневековья подчеркивается сходство их языка и культуры с уйгурскими, поэтому можно думать, что кыргызы уже в древности говорили на тюркском языке.

Рассказывая о средневековых кыргызах, иноземцы особо обращают внимание на их европеоидный облик. «Жители вообще рослые, с рыжими волосами, с румяным лицом и голубыми глазами. Черные волосы считались нехорошим признаком...»<sup>4</sup> Европеоидные черты сохранялись у населения Енисея до монгольского времени. Из-за этого некоторые средневековые писатели даже предполагали родство кыргызов и славян.

<sup>3</sup> Боровкова Л.А. Запад Центральной Азии во II в. до н.э. — VII в. н.э. М., 1989. С.62.

<sup>4</sup> Здесь и далее цитируются этнографические сведения, взятые из книг: Бичурин Н.Я. Собрание сведений о народах, обитавших в Средней Азии в древние времена. М.; Л., 1950. Ч.1; Кюнер Н.В. Китайские известия о народах Южной Сибири, Центральной Азии и Дальнего Востока. М., 1961.

Ряд обычаев средневековых кыргызов восходит к очень древнему периоду, например татуировка или раскраска лица и частей тела. «Храбрые из них татуируют себе руки, а женщины по выходе замуж татуируют себе шею»<sup>5</sup>; «Храбрейшие из взрослых мужчин все чернят лицо в качестве отличия. Женщины, выйдя замуж, также чернят [лицо] от уха до шеи»<sup>6</sup>. У кыргызов «все жители обнажают голову, заплетая волосы»<sup>7</sup>, а мужчины «носят кольца в ушах»<sup>8</sup>. В средние века у них был распространен обряд кремации умерших с захоронением пепла спустя год после сожжения — обряд, связанный с верой в очистительную силу огня.

Все эти этнографические детали могут служить ориентиром для поиска археологических памятников древних кыргызов в Синьцзяне. В VI в. жужане после разгрома тюркоязычных кочевых племен теле оттеснили на Алтай древних тюрков Ашина. В это же время попали на Енисей кыргызы. Не ясно, мигрировали они или были переселены, но с этого времени история кыргызов на 1200 лет оказалась связанной с Енисеем.

#### КЫРГЫЗЫ НА ЕНИСЕЕ

В VI—VIII вв. н.э. на всей территории Минусинской котловины — от предгорий Саян до истоков Чулыма — получили распространение памятники кыргызской культуры. Это весьма своеобразные курганы со стеной-оградой, которая сложена из каменных плит и обставлена вокруг вертикальными каменными стелами. У современного коренного населения Минусинской котловины, хакасов, такие курганы получили наименование «чаа-тас» — камень войны. Хакасы считали, что эти могильники представляют собой поля сражений древних богатырей-великанов. Взрослых людей кыргызы кремировали, так как верили, что огонь очищает от земных грехов; детей погребали, не сжигая.

Обитавшие на Енисее местные кетские и самодийские племена оказались у кыргызов на положении кыштымов — рабов или зависимых: кыргызы

<sup>5</sup> Бичурин Н.Я. С.351.

<sup>6</sup> Кюнер Н.В. С.60.

<sup>7</sup> Он же. С.58.

<sup>8</sup> Бичурин Н.Я. С.351.



*Кыргызские курганы. Вверху — курган VI—VIII вв. (чаа-тас — камень войны); его квадратная ограда сложена из каменных плит со стелами по периметру. Внизу — курган XIII—XIV вв.; конструкция надмогильного сооружения изменилась: теперь это округлая пологая насыпь из камней.*



их «ловили и употребляли в работу»<sup>9</sup>; эти таежные племена платили кыргызам дань «собоями и белками».

Заняв Минусинскую котловину, кыргызы образовали здесь самостоятельное государство, которому пришлось испытывать постоянное давление со стороны центральноазиатских кочевых держав. В середине VI в., после разгрома жужаней, тюркский каган Мухан покорил кыргызов и заставил их поставлять дань — «оружие, крайне острое», и рабов. Известно, что в 569 г. тюркский Истемихан подарил византийскому послу Земарху пленницу «из народа кыргыз». В конце VI в., после распада Тюркского каганата, кыргызы добились независимости. В этот период сложилась административная система кыргызского государства, во главе которого стояли правитель и три министра из числа членов правящего рода.

Однако в VII в. кыргызы на непродолжительное время попали в зависимость от каганата Сейяньто. В середине VII в. кыргызское посольство во главе с правителем государства Шибокюйем Ачжанем нанесло визит в Китай, ко двору танского императора Тайцзуна. С этого времени кыргызские посольства неоднократно прибывали в Китай, пригоняли лошадей для обмена.

В конце VII в., после возрождения II Восточнотюркского каганата с центром в современной Монголии, кыргызы стали активными противниками тюрков. Зимой 710/711 г. тюркское войско, ведомое знаменитым полководцем Кюльтегином, совершило поход через Саянские горный хребет в кыргызские земли. Войско кыргызов потерпело страшное поражение в горной лесистой местности Сунга; в бою погиб их каган Барс-бег. В стратегических пунктах Минусинской котловины были размещены тюркские войска.

Кыргызы заимствовали у тюрков многие элементы культуры, включая руническое письмо. Однако кыргызское государство не было уничтожено: во главе его остался кыргызский прави-

тель; кыргызские посольства продолжали свои визиты в империю Тан.

Вновь активно вмешаться в борьбу за господство над Центральной Азией кыргызам пришлось в середине VIII в.: на этот раз их противником после падения тюркского государства стали уйгуры. В 758 г. кыргызы были разгромлены войсками уйгурского кагана Моюн-Чура и оказались в зависимости от него; кыргызский правитель утратил титул кагана и стал именоваться тегиним, т.е. «сыном» уйгурского кагана. Кыргызские посольства уже не могли попадать в Китай. Сбросить уйгурское владычество кыргызы пытались неоднократно. В конце VIII в., после смены власти в Уйгурском каганате, они восстали, но кагану Кутлугу удалось подавить восстание, после чего на кыргызских землях «не стало живых людей».

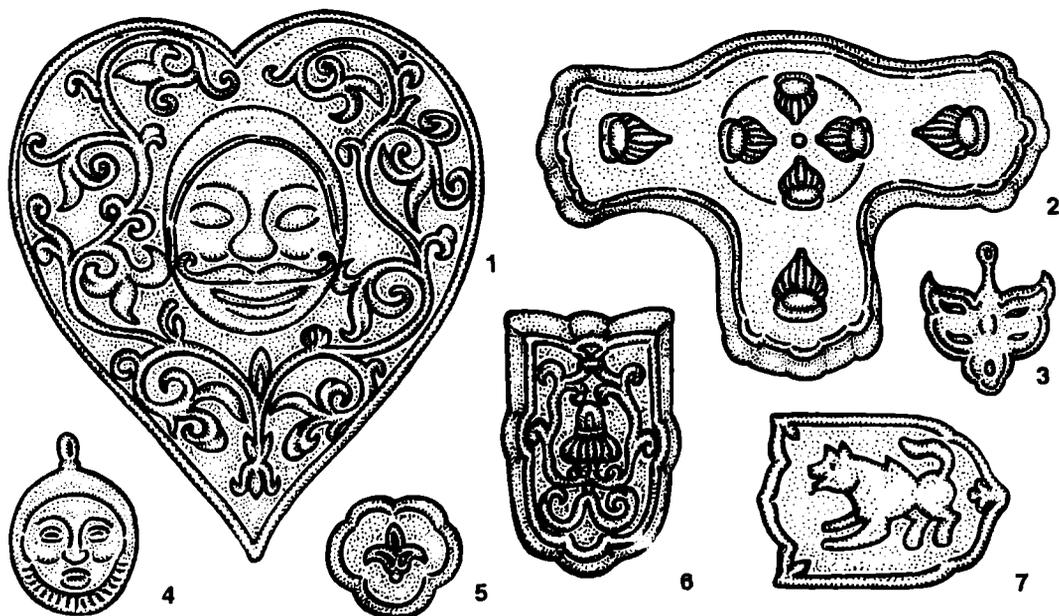
#### КЫРГЫЗСКОЕ ВЕЛИКОДЕРЖАВИЕ

Особое место в истории кыргызов занимает период IX—X вв. Это было время поразительного успеха кыргызского оружия. Сокрушив Уйгурский каганат, кыргызы смогли подчинить себе обширные просторы Центральной Азии. Впервые господство в регионе перешло к кочевникам из далекой северной периферии — Минусинской котловины. События этого времени изменили направленность этнокультурного развития в Центральной Азии. Ее территорию покинули многочисленные кочевые племена теле. Это открыло возможность выхода на арену мировой истории монголоязычным кочевникам.

После восстания 820 г. против уйгурского господства кыргызский правитель Ажо «сам объявил себя ханом», и началась война, длившаяся двадцать лет. Этой войне предшествовала централизация власти и укрепление северных границ кыргызского государства, а для ее объявления был выбран момент, когда уйгуры «начали упадать»: в каганате обострились внутренние распри, государство было ослаблено неудачной войной с тибетцами.

Однако, несмотря на ослабление

<sup>9</sup> Кюнер Н.В. С.60.



*Предметы кыргызской ювелирки (художественных изделий из металла, выполненных способом ручной рельефной обработки): 1 — сердцевидная бляха; 2 — бляха-тройник; 3, 4 — подвески; 5, 6, 7 — бляшки. IX—XII вв.*

военной мощи уйгуров, военные действия приняли затяжной характер. «Хойхуский (уйгурский. — Ю.Х.) хан послал министра с войском, но сей не имел успеха. Хан двадцать лет продолжал войну»<sup>10</sup>. Постепенно военное счастье стало склоняться на сторону кыргызов. Кыргызский правитель Ажо, похваляясь победами, говорил: «Твоя судьба кончилась. Я скоро возьму золотую твою орду, поставлю перед нею моего коня, водружу мое знамя. Если сможешь состязаться со мною, то немедленно приходи; если не можешь, то скорее уходи!» Военные неудачи усилили нестабильность власти в Уйгурском каганате. За несколько лет сменилось пять каганов. Война обострила и экономическое положение в государстве: «В тот год был голод, а вслед за ним открылась моровая язва и выпали глубокие снега, от чего пало много овец и лошадей». Против центральной власти

восстал командовавший уйгурскими войсками полководец Гюйлу Мохэ и в войне с кыргызами перешел на их сторону. Эта измена открыла кыргызским войскам дорогу на уйгурскую столицу Орду-Балык. «Хойхуский хан не мог продолжать войны. Наконец его же полководец Гюйлу Мохэ привел Ажо, в хойхускую орду». В решающем сражении под стенами столицы кыргызы разгромили уйгуров. Гюйлу Мохэ, соединившись с кыргызами, напал со 100-тысячной конницей на уйгурский город и убил хана. Кыргызы разрушили и сожгли Орду-Балык, разгромили окрестный земледельческий район. «Ажо под личным предводительством предал огню ханское стойбище и жилище царевны»<sup>11</sup>.

В результате победы кыргызам досталась богатая добыча. «Хойхуский хан обыкновенно сидел в золотой палатке. Ажо забрал все его сокровища и взял в плен Тай-хо царевну; после сего он перенес свое пребывание на южную сторону гор Лао-Шань»<sup>12</sup>. Уйгуры в панике бежали к границам империи Тан, в Восточный Туркестан, в Прииртышье, в Маньчжурию. «Хойху поколения рассея-

<sup>11</sup> Там же.

<sup>12</sup> Там же.

<sup>10</sup> Бичурин Н.Я. С.355.

лись». Кыргызский каган направил посольство в Китай (вместе с захваченной в плен женой уйгурского кагана — упомянутой китайской принцессой Тай-хо). Между императором и кыргызским каганом завязалась активная дипломатическая переписка. Китайцы призывали кыргызов уничтожить бежавших уйгуров, «вырвать их с корнем». Кыргызское войско в погоне за уйгурами дошло до границ империи Тан, действовало в долине р.Эдзин-гол, в Ордосе и южной Маньчжурии. Военные отряды кыргызов достигли Восточного Туркестана, заняли города Бешбалык, Куча и Аксу.

В этот период существенно расширились границы распространения кыргызской культуры: характерные для нее курганы с погребениями по обряду кремации встречаются, помимо Минусинской котловины, на территории Тувы, Алтая, Приобья, Прииртышья, Монголии, Забайкалья. Следы пребывания кыргызов обнаружены в Восточном Туркестане. В состав Кыргызского каганата вошли союзные и зависимые племена.

Хотя кыргызские каганы и пытались поощрять градостроительство, земледелие, ввести денежное обращение, кыргызская культура приобретала все более кочевнический облик. Захват огромных территорий привел к распылению кыргызского этноса. Кыргызы не смогли удержать завоеванные территории и оказать активное сопротивление надвигавшимся с востока монгольским племенам: в X в. степи Центральной Азии были покорены киданями. «Кыргызское великодержавие» закончилось.

Киданьской вторжение разделило кыргызский этнический массив надвое: часть кыргызов осталась в Саяно-Алтае, другая — в Восточном Туркестане. Кыргызы Саяно-Алтая попали в зависимость от киданьской империи Ляо. Восточно-туркестанские кыргызы подчинились турфанским (синьцзянским) уйгурам.

#### КЫРГЫЗЫ В МОНГОЛЬСКУЮ ЭПОХУ

События начала II тысячелетия н.э. на кыргызских землях слабо отражены в источниках. Известно, что кыргызы «присылали послов с данью» ко двору

империи Ляо, а киданьская «западная граница» принимала кыргызов, «стремившихся к просвещению». Контакты с монгольскими кочевниками способствовали трансформации кыргызской культуры. В это время у кыргызов распространяются новые формы вооружения, совершается переход от бронзолитейной к железоделательной технологии в изготовлении предметов торевтики<sup>13</sup>. Кыргызы утрачивают руническую письменность. В государстве происходит децентрализация власти: каганская власть была сакрализована, а реальное управление перешло в руки правителей отдельных областей — иналов. Восточно-туркестанские кыргызы под влиянием соседей-мусульман отказались от обряда кремации. В этнокультурном отношении обе группы кыргызов — саяно-алтайская и восточно-туркестанская — все больше обособлялись друг от друга.

К началу XIII в. после кровопролитных войн все монгольские племена были объединены в одну державу. В 1206 г. на всемонгольском курултае был избран великим каганом Тэмуджин, взявший себе имя Чингизхана. На курултае был принят план покорения «всего мира». Завоевание «лесных народов» Саяно-Алтая, включая кыргызов, было поручено старшему сыну Чингиза, Джучихану. В 1207 г. Джучи «был послан с войском правой руки к лесным народам». Покорив эти народы, он подступил к землям кыргызов. Тогда к нему явились «кыргызские нойоны Еди, Инал, Алдиер и Олебек-Дигин. Они выразили покорность и били государю челом белыми кречетами — шинхот, белыми же меринами и белыми же соболями»<sup>14</sup>. Зная о трагической судьбе племен, истребленных Чингизханом, кыргызские князья не решились на вооруженную борьбу и подчинились монголам без сопротивления, избавив на какое-то время свой народ от кровопролития. Однако основным условием покорности был «налог кровью»: обязанность постав-

<sup>13</sup> Торевтика — искусство рельефной обработки изделий из металла, чаще всего путем чеканки или тиснения.

<sup>14</sup> Козин С.А. Сокровенное сказание. Монгольская хроника 1240 г. М.; Л., 1941. Т.I. С.174—175.



Авторские реконструкции кыргызских воинов, позволяющие проследить эволюцию их вооружения и снаряжения боевого коня. Вверху — всадник IX—X вв.: воин облачен в чешуйчатый железный доспех, у коня защитная попона; внизу — всадник IX—XII вв.: его пластинчатый доспех из более прочной брони защищает самые уязвимые участки тела.



лять военные отряды в монгольские войска. Впервые такая необходимость возникла в 1218 г., когда против монголов восстали туматы — племена, кочевавшие по территории современной Тувы. Монголы «потребовали от кыргызов войско, те не дали и восстали»<sup>15</sup>. На покорение кыргызов была направлена большая армия во главе с Джучиханом. Она прошла с боями по территории Тувы, Минусинской котловине, Горному и Монгольскому Алтаю, вновь подчинив «лесные племена». Часть кыргызов была перебита и угнана в плен, часть ушла в степное Причумылье. Минусинские степи обезлюдели. Эти события нашли отражение в распространении курганов енисейских кыргызов по территории Южной Сибири.

Кыргызы были вынуждены участвовать в междоусобных войнах чингизидов в борьбе за престол Великого хана. Во второй половине XIII в. они участвовали в войнах Ариг-Буги и Хайду против основателя империи Юань Хубилая. В конце XIII в. монгольская армия во главе с полководцем Тутухой подчинила племена Саяно-Алтая, при этом часть кыргызов в качестве военных поселенцев чингизиды переправили в Маньчжурию и Шаньдун (на территорию северо-восточного Китая), а на освободившихся землях создали военные поселения из монголов, уйгуров и китайцев. Эти переселения нанесли большой урон кыргызскому этносу на Енисее. Сократились его численность и территория компактного проживания.

#### О ПРОИСХОЖДЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ КЫРГЫЗОВ

Вопрос об этническом родстве кыргызов Енисея и Тянь-Шаня и о возможном происхождении современного кыргызского народа от енисейских кыргызов, давно интересует специалистов разных стран. Занимались изучением этой проблемы и крупнейшие ученые прошлого (такие как Г.Ф.Миллер, И.Э.Фишер, К.Риттер, Ю.Клапрот) и наши современники (В.Радлов, В.В.Бар-

тольд, А.Н.Бернштам, С.М.Абрамзон<sup>16</sup> и др.). Одни из них высказывались в пользу гипотезы переселения кыргызов с Енисея или Алтая на Тянь-Шань в эпоху «кыргызского великодержавия» или в период позднего средневековья, другие такую возможность отрицали.

Наиболее убедительной, по моему мнению, представляется точка зрения, сформулированная О.К.Караевым<sup>17</sup>. Согласно его представлениям, кыргызы появились на Восточном Тянь-Шане в ходе войны с уйгурами в IX в. После захвата Центральной Азии киданями кыргызы остались жить в Восточном Туркестане. Они попали в зависимость от турфанских (синьцзянских) уйгуров, испытали сильное влияние со стороны «соседей мусульман». В XII в. были покорены каракиданами, в XIII в. — монголами, войдя в состав улусов Джагатая и Хайду, а в XIV в. — в состав Моголистана. В XV в. кыргызы были «лесным племенем» и «зачинателем всех смут» в Моголистане. В середине этого столетия они переселились на Западный Тянь-Шань, где проживают до настоящего времени. Вокруг этих кыргызов и сформировался современный кыргызский народ.

**От редакции:** 1200-летнее пребывание кыргызов на Енисее и создание ими здесь государственного образования (древнехакасского — по Л.Р.Кызласову) не могло пройти бесследно; оно несомненно оказало заметное влияние на этнокультурные процессы, которые привели к сложению целого ряда современных народов Южной Сибири: хакасов, тувинцев, алтайцев, тофаларов, шорцев и др.

(Подробнее см.: **Кызласов Л.Р.** ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ. КРАСНОЯРСК, 1990.)

<sup>16</sup> Абрамзон С.М. Киргизы и их этногенетические и историко-культурные связи. Фрунзе, 1990. С.23—35.

<sup>17</sup> Караев О. Арабские и персидские источники IX—XII вв. о киргизах и Киргизии. Фрунзе, 1968. С.30—93.

<sup>15</sup> Рашид-Ад-Дин. Сборник летописей. М.; Л., 1952. Т.1. Кн.1. С.151.

# Необычные валентные формы

Ю. М. Киселев

Статьи по химии не традиционны для нашего журнала, хотя эта наука и относится к естествознанию. Но случается и нам погрузиться в область фундаментальных химических исследований (см., например: Антилов Е.В., Путилин С.Н. Рекордсмены среди сверхпроводников // Природа. 1994. № 10. С.3–16). В этом номере мы предлагаем читателям познакомиться... с валентностью. Сама тема побуждена публикацией А.Е.Шилова и А.А.Штейнмана «Моделирование биологического окисления метана» (Природа. 1995. № 6. С. 68–78), в которой упомянуты необычные валентности железа (IV, V) и никеля (III). Некоторые наши читатели были буквально заинтригованы этим и просили редакцию разъяснить, реальны ли подобные валентности.

Юрий Михайлович Киселев любезно согласился помочь нам и в своей статье знакомит нашу неискушенную в химии аудиторию с успехами и проблемами того раздела химической науки, который специально занимается необычными валентными формами элементов.



*Юрий Михайлович Киселев, доктор химических наук, доцент кафедры неорганической химии химического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Основной круг научных интересов — координационная химия, тонкий неорганический синтез, соединения элементов в необычных состояниях окисления, окислители, в том числе — фторокислители.*

## ВАЛЕНТНОСТЬ

Знакомый всем со школьной скамьи термин «валентность» иногда относят к устаревшим, а его использование даже считается дурным тоном. Такое мнение особенно распространено в среде специалистов (в основном — физиков), далеких от проблем, связанных с окислительно-восстановительными реакциями. С валентностью и в самом деле не так все просто, начиная с определения самого понятия.

Термин «валентность» (до него, с благословения А.Кекуле, использовался другой — «атомность») возник в рамках старой классической теории химического строения. В дальнейшем он не раз изменялся и разъяснялся. В начале нашего века А.Вернер высказал идею о главных и побочных валентностях. Наконец, по мере внедрения в химию физических моделей валентность пытались описать и определить с позиций электронных представлений.

Попытки привнести в понятие о валентности «природу химической связи» широко распространены в современных учебниках и, надо признать, запутывают и без того туманную картину<sup>1</sup>. Становится ли ясным само понятие, если не сказано ни что такое химическое взаимодействие, ни что такое химическая связь, когда валентность «определяется как число электронов, которые атом способен отдать или принять при химическом взаимодействии» или: «число валентности определяется через число химических связей, которыми атом соединен с партнерами... химическая связь осуществляется посредством пары электронов»?

В 20-е годы химическую связь В.Гайтлер и Ф.Лондон охарактеризовали с позиции взаимной компенсации спинов взаимодействующих электронов, а в качестве количественной меры предложили целое число — удвоенный спин атомов. Казалось бы, это вполне совпадет с «химической валентностью» (такая точка зрения фигурирует у Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица в их знаменитом «Курсе теоретической физики»). Отсюда шаг до вывода о валентности как числе электронных пар в молекулах. Примерно в то же время существовали и разнообразные электростатические теории, в которых за действующую единицу принимались именно электронные пары.

Так что же в конце концов теперь с этим термином? В строгих физических теориях химической связи он просто не используется за ненужностью, а его введение выглядит весьма искусственным. Но это не значит, что само понятие и термин нежизнеспособны, для химиков они остаются фундаментальными, но использовать их можно лишь в строго очерченных рамках.

Отметим, что валентность характеризует способность эффективных атомов соединяться между собой в

химические частицы. Это сущностное понимание объединяет многих исследователей, дискуссия возникает преимущественно о мере (числе) валентности и о значимости термина.

Проще всего, видимо, эту меру определить через число грамм-эквивалентов (г-экв.) окислителя или восстановителя, которое расходуется или приобретает при превращении простого вещества (металла, металлоида) в его соединение либо наоборот. В качестве стандарта здесь целесообразно принять «одноэлектронный» процесс окисления или восстановления, причем неважно, какое из известных «одноэлектронных» превращений использовать. Применение такого стандарта не означает, конечно, что в нем действительно потребляется один электрон за один акт превращения. Механизм подобных процессов сложен и может включать как перенос электронов, так и атомов.

Такой способ определения числа валентности достаточно удобен, так как при переходе огромного количества соединений в простые вещества потребляется целочисленное количество восстановителя, выражаемое в грамм-эквивалентах (кстати, в Советском энциклопедическом словаре, 1987 г., эта единица не рекомендуется для использования, в системе СИ количество вещества выражается в молях). Например, для восстановления до металлического состояния марганца в перманганат-ионе  $MnO_4^-$  требуется 7 г-экв., для осмия в его тетраоксиде  $OsO_4$  — 8, для рения в триоксиде  $ReO_3$  — 6 и т.д. Это реальные факты, от которых деться некуда.

Представления о наличии в химических соединениях элементов в определенных валентных формах, или состояниях окисления, — традиционны. Число таких состояний для каждого атома определяется природой элемента, и это одно из его основных и фундаментальных свойств.

Валентность — классификационный термин в классической теории химического строения. Поэтому и не удивительно, что соединения какого-либо элемента в одной и той же

<sup>1</sup> Подробнее см.: Охлобыстин О.Ю. Что же такое валентность // Химия и жизнь. 1986. № 11. С.13—17.

валентности могут различаться распределением электронной плотности, координационными полиэдрами и характером связей. А ведь именно на эти различия обычно и обращают внимание те, кто отвергает термин «валентность» в его традиционных формулировках. Иначе говоря, конкретные «электронные свойства» атомов (ионов), о которых можно судить по данным физических методов исследования, являются следствием наличия у этих атомов той или иной валентности. Поэтому же не противоречат приведенному определению числа валентности теории, в которых рассматриваются разнообразные флуктуации электронных состояний, процессы электронного упорядочения и т.п. Это лишь свойства элемента, находящегося в данной валентности, которые необходимо специально изучать и систематизировать.

Говоря о валентности, необходимо особо подчеркнуть: чем шире арсенал методов исследования вещества, основанных на разнообразных физических явлениях, тем надежнее мы идентифицируем соединение, получаем больше сведений об его электронном строении. Благодаря этому кроме позиционных, как бы «замороженных», состояний окисления были обнаружены еще и динамические, обусловленные эффектами делокализации электронов.

Электронная динамика, с которой связывают смешанную валентность, проявляется достаточно часто как

— ненаблюдаемость определенно-го состояния окисления того или иного атома (так, фториды золота, в которых оно имело бы валентность +4, отсутствуют, хотя существуют  $\text{AuF}_3$ ,  $\text{AuF}_5$ );

— отклонение расчетной валентной формы от целочисленного значения;

— рассогласование химических и физико-химических данных о состоянии окисления атома; например, в оксиде серебра, по данным химического анализа — двухвалентного, обнаруживаются ионы одно- и трехвалентного элемента.

Проблема смешанной валентности весьма актуальна для современной химии, в связи с чем остановимся на ней подробнее.

## СМЕШАННАЯ ВАЛЕНТНОСТЬ

Известно множество соединений, которые можно представить как смешанновалентные. Единой теории образования таких систем нет, но установился некий комплекс взглядов, основанный на простых физических моделях. Например, Н.Хаш и его последователи считают, что в соединении, содержащем ионы металла в различных валентных формах  $A^{i+}$  и  $B^{j+}$ , взаимодействуют основное и возбужденное состояния этих ионов и в результате образуются смешанные состояния, между которыми возможны электронные переходы. Согласно модели Хаша, когда электрон перемещается в сторону одного из центров, разновалентные ионы на короткое время как бы обмениваются окружением. При релаксации возникает энергия активации оптического переноса, что проявляется в электронных спектрах в виде дополнительной полосы поглощения.

Основываясь на этой идеологии и ориентируясь на спектроскопические сведения, П.Дей предложил классификацию валентных форм по времени  $\tau$  электронного обмена между центрами, а фактически — по значениям констант скорости  $k_c$  внутримолекулярного переноса электрона. Примечательно, что наблюдаемые явления зависят от характеристического времени  $\Delta t$  — параметра, на который не часто обращают внимание. А между тем он дает очень ценную информацию о состояниях окисления.

Если за время измерения электрон много раз перебегает от иона к иону (условие:  $\Delta t \gg \tau$ ), то проявляется эффект делокализации электрона, а прибор регистрирует некое усредненное электронное состояние (это III класс по Дею). Химическое проявление этого эффекта — фиксация дробного значения валентности, поскольку

многоядерные комплексы с атомами металла имеют различающиеся, но целочисленные валентности. Если же  $\Delta t \ll \tau$ , то прибор фиксирует положение электрона по крайней мере возле одного из ионов. Это и есть позиционное состояние окисления (I—II классы по Дею). Хаш с коллегами называют такие системы ловушечными, так как в них электрон захватывается атомами или ионами.

Эти два примера показывают, что иногда, казалось бы, противоречивые результаты исследования одготипных веществ разными физическими методами могут быть совместимы. Так, по данному электронной спектроскопии ( $\Delta t \approx 10^{-15}$  с) в соединении  $[(\text{NH}_3)_5\text{Ru-py-z-Ru}(\text{NH}_3)_5]^{5+}$  ( $\tau = 4 \cdot 10^{-8}$  с; pyz — пиразин) одновременно фиксируются ионы  $\text{Ru}^{2+}$  и  $\text{Ru}^{3+}$ , т.е. имеются позиционные состояния окисления. Если же исследуется комплекс осмия аналогичного состава —  $[(\text{NH}_3)_5\text{Os-N-Os}(\text{NH}_3)_5]^{5+}$  — ( $\tau \sim 10^{-20}$  с) методом рентгеноэлектронной спектроскопии ( $\Delta t \approx 10^{-17}$  с), то обнаруживается делокализация электрона и делается вывод о наличии усредненной валентной формы  $\text{Os}^{n+}$  — с  $n \sim +2.5$ . Такую валентность называют флуктуирующей.

Важное свойство смешанновалентных соединений — их способность к зарядовому упорядочению, за счет которого устанавливается закономерное чередование электронных синглетов или дублетов (в зависимости от вырожденности состояний центрального атома) по решеточным центрам.

В конденсированных фазах эффекты зарядового упорядочения проявляются специфическим образом: неоднородное распределение электронной плотности на решеточных центрах вызывает статические и динамические волны зарядовой плотности (ВЗП). ВЗП — это кооперативный эффект изменения валентного состояния, ведущий к диспропорционированию электронной плотности за счет поляризации электронной системы, когда связывающие и разрыхляющие уровни расположены симметрично по отноше-

нию к уровню Ферми (в спектре энергетических состояний валентной зоны ему отвечает наивысший занятый уровень). Зарядовая волна возникает при смешении каждой связывающей орбитали со своей разрыхляющей.

Если изменять температуру, должно меняться и время обмена электронами, а это в свою очередь может сопровождаться сменой типов зарядового упорядочения и ВЗП. Яркая иллюстрация этого положения — результаты мессбауэровского исследования  $\text{Eu}_2\text{S}_4$ , проведенного Г.Вертхеймом. Ниже 229 К обнаруживается состояние с разделенными валентными формами (II класс по Дею, или неоднородная смешанная валентность), а примерно при этой температуре наблюдается электронный фазовый переход, вследствие которого динамические волны зарядовой плотности меняются на статические.

В растворах также существуют ВЗП, но они короткодействующие и не могут распространяться на много центров, их попросту нет. Однако в стеклообразных препаратах, где могут существовать все же хоть сколько-нибудь протяженные системы решеточных центров, такие волны вполне вероятны.

Сейчас имеется много сведений о диспропорционировании различных состояний окисления элементов третьего—пятого периодов Периодической системы. Оно не наблюдается только для весьма стабильных валентных форм, редокс-переходы которых реализуются с трудом (эти формы не являются ни окислительными, ни восстановительными), а также для наиболее высоких и низких валентностей. Исследование даже мощных окислителей (например,  $\text{FeO}_4^{2-}$ ) показывает, что для существующих в них высоких валентных форм все же можно подобрать условия, стимулирующие диспропорционирование. Тогда оно сопровождается образованием высших состояний окисления, для железа, например, это +8. Таким образом, все определяется «обычностью» или «экстремальностью» (наивысшим значени-

ем из возможных валентностей) состояний. В последнем случае эффекты зарядового упорядочения затруднены, а может быть, и невозможны.

На форме проявления диспропорционирования сказывается природа лиганда. К примеру, в  $\text{AgF}_2$  скорее всего имеется смешанная валентность флуоридного типа, а в монооксиде (иногда его формулу записывают как  $\text{Ag}_2\text{O}_2$ ) — позиционного, т.е. присутствуют две формы серебра: +1 +3. Аналогичная ситуация и во фториде  $\text{Cs}_2\text{AgF}_6$ ; в нем состояние окисления +4 диспропорционирует, и в структуре фиксируются координационные полиэдры с серебром в валентных формах +3 и +5, хотя соответствующая оксидная форма не обнаруживается вовсе.

Диспропорционирование может осуществляться и в газовых полимерах, если и не в реально существующих, то по крайней мере в полимерных переходных состояниях. Например, оно обнаружено в газообразных фторидах элементов восьмой группы Периодической системы, а во фторидах золота, также имеющих полимерное строение, М.В.Коробов и Л.Н.Савинова (1990) даже наблюдали сосуществование разновалентных состояний этого металла: +3 и +5.

#### ВЫСШИЕ СОСТОЯНИЯ ОКИСЛЕНИЯ d-ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Мы начали исследования высших валентных форм этих элементов в 1985 г., когда сведений о таких соединениях для элементов восьмой группы было очень мало. Элементами, которые мы изучали, стали железо, кобальт, никель, а также медь, серебро и золото.

**Высшие валентные формы железа.** Этот металл очень интересен в отношении его валентных возможностей. Вплоть до последнего времени считалось, что максимальная проявляемая им валентность не превышает +6, и этому были даже теоретические обоснования. Во всяком случае еще в 1987 г. проведенные И.А.Тополем и В.И.Вовной квантово-химические рас-

четы тетраоксидов Fe, Ru и Os показали, что для  $\text{FeO}_4$  характерны весьма высокие заселенности атомных состояний и это вроде бы препятствует образованию прочных связей Fe-O (однако это не исключает возможность получения такого, пусть даже малостабильного, соединения). Железо даже в валентной форме +5 представлено всего лишь единичным, правда, хорошо исследованным П.Хагенмюллером и П.Б.Фабричным соединением  $\text{La}_2\text{LiFeO}_6$ , которое они получали при высоком давлении. Но и давно известные ферраты(VI) были изучены недостаточно, а о производных  $\text{Fe}^V$  и говорить не приходится. Так что у нас было широкое поле деятельности.

Подробно изучив процессы, происходящие в щелочных средах при анодном растворении в них металлического железа за счет высоких плотностей тока (технический электролиз), мы нашли условия, при которых образуется феррат(VI); качественно охарактеризовали механизм этого процесса; поняли, чем объясняется разложение концентрированных растворов ферратов(VI) до гидроксида железа(III). Обнаружив аномалии в свойствах растворов ферратов, мы подробнее исследовали их и пришли к выводу, что в щелочных средах существуют ферраты(IV), считавшиеся ранее совершенно нестабильными в водных растворах, а также  $\text{FeO}_4$ , т.е. производное восьмивалентного железа. Для интерпретации этих соединений использовались данные электронной спектроскопии растворов, мессбауэровской спектроскопии и некоторых других методов. На основании полученных данных у нас возникли предположения, что в ферратах(VI) можно вызвать диспропорционирование термическим стимулированием и тогда образуются соединения  $\text{Fe}^{VII}$  и  $\text{Fe}^V$ .

Соединение восьмивалентного железа весьма нестабильно<sup>2</sup>, его удается выделить в относительно чистом виде лишь экстракцией четыреххлористым углеродом из растворов ферратов (из экстрактов его можно получить перегонкой при 30°C, хотя и с очень

небольшим выходом — около 25—30%). Растворы  $\text{Fe}^{\text{VIII}}$  разлагаются автокаталитически до гидроксида  $\text{Fe}^{\text{III}}$  и могут существовать лишь в области концентраций ниже 0.01 М/л. В мессбауэровском спектре водно-щелочных систем (77 К), включающих  $\text{Fe}^{\text{VIII}}$ , появляется дополнительная синглетная линия, относящаяся по величине химического сдвига к высшей валентной форме железа.

Что касается феррата(IV), существующего в водно-щелочной среде, то он оказался настолько стабильным, что его растворы могут сохраняться в обычных условиях по крайней мере в течение двух лет. Образуется он не только в процессе диспропорционирования, но и при длительном действии кислорода на щелочные растворы гидроксокомплексов  $\text{Fe}^{\text{III}}$ , если концентрация железа в растворе невысока. Наши данные о  $\text{FeO}_4$  существенно дополнили известные закономерности Периодической системы элементов, а кроме того, позволили провести качественную корреляцию между стабильностью соединений и заселенностью орбиталей, сведения о которой получают методами квантовой химии.

**Стабилизация высших состояний окисления меди, серебра, золота.** Проблема высших валентных форм этих элементов, особенно золота, до сих пор полностью не решена. Лишь в 1972 г. П.Бартлет получил первое соединение золота(V) в составе фторокомплекса с большим катионом  $\text{Xe}_2\text{F}_{11}^+$ . Но хотя с того времени были синтезированы и бинарный фторид  $\text{AuF}_5$ , и даже фторокомплексы с разными щелочными и щелочноземельными катионами, соединения с лигандами ближнего координационного окружения  $\text{Au}^{\text{V}}$ , отличными от фтора,

оставались неизвестными. Было неясно, могут ли существовать, например, соединения  $\text{Au}^{\text{IV}}$  или более высоких, нежели +5, валентных форм. Примерно так же обстояли дела и с соединениями серебра: Хагенмюллер открыл лишь производное  $\text{Ag}^{\text{V}}$  —  $\text{Cs}_2\text{Ag}_{1/2}\text{Ag}_{1/2}^{\text{III}}\text{F}_6$ . Для разрешения вопросов о высших состояниях окисления Cu, Ag, Au мы провели специальные эксперименты. Они оказались результативными. Во-первых, был синтезирован и изучен ряд фторидов (в том числе новых:  $\text{Cu}^{\text{III}}$ ,  $\text{Ag}^{\text{I}}$ ,  $\text{Ag}^{\text{II}}$ ,  $\text{Ag}^{\text{III}}$ ,  $\text{Au}^{\text{III}}$ ,  $\text{Au}^{\text{IV}}$ , а также  $\text{Ag}^{\text{III,V}}$ ) — бинарных (среди них  $\text{AgF}_3$ ) и комплексных — с разнообразными неорганическими катионами. Во-вторых, теоретически предсказано множество новых реакций синтеза этих соединений. Кроме того, меняя методики синтеза, мы выявили факторы, влияющие на выход продуктов, а тем самым — и на стабилизацию соответствующих окислительных состояний. В-третьих, при исследовании продуктов термоллиза фторокомплексов  $\text{Au}^{\text{V}}$  обнаружилось факты, которые можно трактовать с позиции диспропорционирования этого состояния окисления золота<sup>3</sup> (правда, не удалось получить прямых доказательств того, что в газовой фазе имеется один из продуктов разложения этих соединений — фторид, более богатый фтором, нежели  $\text{AuF}_5$ ). Мы получили также несколько смешанно-валентных фторидных соединений, которые, как оказалось, весьма характерны для всех достаточно высоких валентных форм исследованных элементов.

Основной вывод из экспериментов с соединениями железа и элементов подгруппы меди в том, что диспропорционирование, с которым связана смешанная валентность, играет важную роль в стабилизации высших состояний окисления. Этим, видимо, уникальным путем в химических реакциях можно достигнуть наи-

<sup>2</sup> Киселев Ю.М., Копелев Н.С., Спицын В.И., Мартыненко Л.И. Восьмивалентное железо // Докл. АН СССР. 1987. Т.292. С.628—631; Перфильев Ю.Д., Копелев Н.С., Киселев Ю.М., Спицын В.И. Мессбауэровское исследование восьмивалентного железа // Докл. АН СССР. 1987. Т.296. С.1406—1409; Kiselev N.S., Kiselev Yu.M., Perfiliev Yu.D. Mossbauer study of the oxocomplexes iron at high oxidation states // J. Radioanal. Nucl. Chem. 1992. V.157. P.401—411.

<sup>3</sup> Киселев Ю.М., Попов А.И., Коробов М.В., Савинова Л.Н. О термическом разложении фторауратов(V) // Журн. неорган. химии. 1989. Т.34. С.2240—2243.

более высоких валентностей элементов, лишь бы такие состояния были термодинамически допустимыми.

Здесь не лишне отметить, что за разработку проблем высших состояний окисления *d*-переходных металлов Н.С.Копелев, А.И.Попов, С.А.Горяченок — в то время молодые выпускники химического факультета МГУ — были удостоены премии Ленинского комсомола 1990 г. (фактически это государственная премия для молодых ученых).

#### НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВЫСШИХ СОСТОЯНИЯХ ОКИСЛЕНИЯ

**Матричная стабилизация.** Сущность этого приема заключается в том, что атомы метки, вводимые в некую кристаллическую матрицу, занимают место в дефектах или вакансиях структуры, а затем после термической обработки обмениваются местами с атомами самой матрицы. Эффективность реакции обмена обычно связана с изменением электронной конфигурации (либо состояния окисления) атомами метки. Геометрические критерии здесь весьма важны, так как отражают влияние термодинамики смешанной системы матрица—метка. Кристаллическое поле матрицы «навязывает» легирующему иону способ «поведения» электронного облака в кристаллической решетке и в ряде случаев сопровождается переносом заряда с одного атома металла на другой, т.е. изменением валентной формы.

Подобный прием ранее использовался Г.Брауэром при стабилизации  $\text{Pr}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Tb}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Nd}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Dy}^{\text{IV}}$  в матрице  $\text{BaCeVO}_3$ , а также, например, зарядовых состояний  $\text{Cr}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Cr}^{\text{V}}$  или  $\text{Fe}^{\text{VI}}$  в матрицах хроматов(VI). Мы тоже использовали этот прием для получения необычно высоких валентностей железа и кобальта и включали  $^{57}\text{Fe}$  или  $^{57}\text{Co}$  в разные матричные оксидные системы (манганаты, ренаты, рутенаты, ферраты).

Из наиболее интересных результатов этих работ отметим два<sup>4</sup>. Первый — стабилизация ионов  $\text{Co}^{\text{VI}}$  в феррате состава  $\text{Cs}_2\text{Fe}^{\text{VI}}\text{O}_4$ . Это не только впервые полученное состояние

$\text{Co}^{\text{VI}}$ , но и наивысшее из достигнутых к настоящему времени. Второй — фиксация  $\text{Fe}^{\text{VII}}$  и  $\text{Fe}^{\text{VI}}$  в матрице  $\text{Cs}_3(\text{Ru}_{1/2}^{\text{VI}}\text{Ru}_{1/2}^{\text{VII}}\text{O}_4)$ , т.е. смешанновалентном (VI, VII) оксорутенате. В отношении  $\text{Fe}^{\text{VII}}$  можно было ожидать, что это состояние достижимо, так как нельзя исключить его наличия в механизме получения  $\text{FeO}_4$  на стадии диспропорционирования ионов в щелочных средах:



В этой схеме реализуется «двухвалентный» обмен, а значит, в соответствии с принципом Шеффера, могут существовать промежуточные «одноэлектронные» превращения с участием  $\text{Fe}^{\text{VI}}$ . Но оно должно быть неустойчивым. Мы поставили перед собой задачу стабилизировать это состояние и добились желаемого, чем существенно дополнили химию железа. Добавим, что полученные нами соединения железа и кобальта образуются в условиях окислительного синтеза с участием пероксидов натрия и цезия при нагревании.

**Валентные возможности *d*-переходных элементов.** В связи со сказанным возникает много вопросов, главный из них — какая из валентных форм химических элементов является экстремальной (т.е. предельно достижимой) и в каких соединениях она существует?

Максимальное состояние окисления, достигнутое в настоящее время, — +8, реализовано оно для Fe, Ru, Os (таблица). Примечательно, что вплоть до седьмой группы Периодической системы элементов наблюдается отчетливая корреляция между номером

<sup>4</sup> Копелев Н.С., Куликов Л.А., Перфильев Ю.Д., Киселев Ю.М. Исследование поведения  $^{57}\text{Co}$  в матрице  $\text{Cs}_2\text{FeO}_4$  методом мессбауэровской спектроскопии // Журн. неорган. химии. 1995. Т.40. С.838—841; Perfiliev Yu.D., Kholodkovskaya L.N., Kulikov L.A., Kiselev Yu.M. Mossbauer, X-ray and ESR studies of Fe doped sodium and cesium ruthenates // Intern. Conf. on the Applications of the Mossbauer effect (ICAME-95). 1995. Abstr. P.04—c16.

Таблица  
Состояния окисления элементов третьего—пятого периодов

Элемент	Состояния окисления металла							
	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+
Sc		Э <sup>2</sup>						
Ti	1,3	Д <sup>0</sup>	Э <sup>2</sup>					
V	2,3	Д <sup>2,3</sup>	Д <sup>0</sup>	Э <sup>2</sup>				
Cr	1,3	2,3	Д <sup>1</sup>	Д <sup>1</sup>	Э <sup>2</sup>			
Mn	7	Д <sup>0</sup>	0	Д <sup>1</sup>	Д <sup>1</sup>	Э <sup>1</sup>		
Fe	7	6,7	0	Д <sup>1</sup>	Д <sup>1</sup>	??	Э <sup>1</sup>	
Co	Д <sup>7,1</sup>	0	0	??	В <sup>6</sup>	??	??	
Ni	7	Д <sup>2</sup>	В <sup>3</sup>	??	??	??		
Cu	Д <sup>2,3</sup>	Д <sup>0</sup>	В <sup>0</sup>	??				
Zn	Э <sup>7</sup>							
Y		Э <sup>7</sup>						
Zr	Д <sup>1,3</sup>	1,3	Э <sup>7</sup>					
Nb	3	1,3	Д <sup>2,3</sup>	Э <sup>7</sup>				
Mo		2	2,3	Д <sup>1,3</sup>	Э <sup>7</sup>			
Tc		Д <sup>3</sup>	Д <sup>3</sup>	3	1	Э <sup>2</sup>		
Ru		2,3	Д <sup>1</sup>	Д <sup>0</sup>	Д <sup>2,3</sup>	3	Э <sup>1</sup>	
Rh		2,3	2	Д <sup>0</sup>	В <sup>6</sup>	??	??	
Pd	7	Д <sup>2,3</sup>	0	В <sup>6</sup>	??	??		
Ag	Д <sup>2</sup>	0	Д <sup>1,0</sup>	В <sup>0</sup>	??			
Cd	Э <sup>7</sup>							
La	??	Э <sup>7</sup>						
Hf	3	Д <sup>2,3</sup>	Э <sup>7</sup>					
Ta	Д <sup>3</sup>	1	Д <sup>1</sup>	Э <sup>7</sup>				
W	3	3	3	Д <sup>2,3</sup>	Э <sup>7</sup>			
Re	3	3	2,3	Д <sup>1</sup>	Д <sup>2,3</sup>	Э <sup>2</sup>		
Os	1,3	1,3	2,3	Д <sup>2</sup>	Д <sup>2</sup>	Д <sup>1</sup>	Э <sup>1</sup>	
Ir	3	Д <sup>1</sup>	Д <sup>0</sup>	0	В <sup>6</sup>	??	??	?? <sup>1,0</sup>
Pt	7	Д <sup>2,3</sup>	7	Д <sup>0</sup>	В <sup>6</sup>	??	??	??
Au	Д <sup>2</sup>	7	Д <sup>2</sup>	В <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup>		
Hg	В <sup>7</sup>	10	?					

Примечания. Надстрочными индексами обозначены соединения или условия, в которых достигнуты указанные состояния окисления: 1 — в кислородных соединениях, 2 — кислородных и фторидных, 3 — галогенидных, кроме фторидов, 4 — при высоком давлении, 5 — в оксидных матрицах, 6 — известно только во фторидах, 7 — обычное состояние окисления, 8 — окислитель, 9 — данные не подтверждены, 10 — квантово-химический расчет. Д — известно одно из проявлений эффекта диспропорционирования; Э — высшая валентная форма, которая, вероятно, является экстремальной; В — высокое состояние окисления, но его экстремальность неясна; ?? — сведения отсутствуют, но достижение данной валентности вероятно; ? — имеются косвенные свидетельства, надежные доказательства не получены.

группы и наивысшей валентностью. Соблюдается она еще и для первых элементов восьмой группы — так называемых триад (Fe, Ru, Os), но для последующих уже перестает действовать.

На что следовало бы ориентироваться при попытках получить соединения  $3d$ -переходных металлов? Скорее всего — на оксиды и двухвалентные лиганды: размеры центрального атома в оксидах настолько малы, что одновалентные лиганды (ионы фтора) не способны чисто стерически реализовать координационное число (КЧ), большее четырех. А если  $KЧ=4$ , то могут образоваться только фториды металлов в относительно низких состояниях окисления. Поэтому, чтобы получить соединение  $3d$ -металла высоких валентных форм, лиганд не только должен иметь минимальную поляризуемость, но и быть двухвалентным. Ожидаемое же КЧ также не должно быть  $>4$  по геометрическим соображениям.

Однако приведенные рекомендации не всегда справедливы. Для тетраэдрических оксоионов элементов с формальной электронной конфигурацией  $d^0$  ( $VO_4^{3-}$ ,  $CrO_4^{2-}$  и т.д.) по мере роста атомного номера энергетическая щель (отвечающая спектроскопическому переходу  $t_1 \rightarrow 2e$ ) уменьшается, и уже для  $CoO_4^{+}$  сколько-нибудь стабильные соединения не смогут образоваться. Поэтому неразумно полагать, что тенденция совпадения экстремальных состояний окисления металла с номером группы длинного периода системы элементов будет продолжаться и далее.

Для элементов  $5d$ -серии также следует ориентироваться на оксиды и ожидать, что предпочтительным для них будет  $KЧ=4$ . Но удастся ли получить соединения элементов этой серии с валентностью  $+10$ , пока неясно: квантово-химические оценки энергии  $t_1 \rightarrow 2e$  перехода для производных  $Pt^X$  (Г.В.Ионова и А.А.Киселева) показывают, что  $2e$  и  $t_1$  состояния (модель  $T_d$ ;  $PtO_4^{2+}$ ) чрезмерно локализованы.

В отношении высоких, но не максимально мыслимых валентных форм положение оптимистичнее. Даже для иона кобальта, помещенного в тетраэдрическое кислородное окружение, электронная конфигурация  $d^2$ , а тем более  $d^3$  кажется вполне достижимой. Это связано с тем, что перепад энергий для перехода  $t_1 \rightarrow 2e$  больше нуля, если и не для  $Co^{VII}$ , то для  $Co^VI$ , который действительно получен нами в матрице оксофтората.

Тяжелые элементы ( $4d$ -, а тем более  $5d$ -серий) выгодно отличаются от  $3d$ -элементов большими размерами ионов, а значит, их потенциалы ионизации существенно меньше. Поэтому поиск высоких валентных форм иридия, платины, золота вполне перспективен — в кислородных производных.

С геометрической точки зрения размеры сильно ионизированных атомов все же достаточны для организации по крайней мере  $KЧ=4$ . Судя по выполненным Г.Л.Гуцевым и А.И.Болдыревым квантово-химическим расчетам тетраэдрических оксоанионов типа  $M^{VI}O_4^-$  ряда переходных металлов  $4d$ -серии, целесообразно проверить эти рассуждения.

Итак, можно ли достигнуть экстремальных состояний окисления тяжелых  $d$ -элементов? Ответ могут дать только эксперименты. И здесь возможно протекание необычных реакций. Более того, они зафиксированы Д.А.Панкратовым (1994, 1995) в первых опытах по озонированию щелочных растворов гидроксокомплексов платины: при взаимодействии  $O_3$  с растворами  $Pt(OH)_6^{2-}$  образуются ранее неизвестные комплексы платины вероятного состава  $[(OH)_5Pt(\mu-O_2)Pt(OH)_5]^{n+}$ , где  $n=2; 3$ . Мы рассчитываем, что удастся получить новые состояния этого элемента, необычайно высоковалентные.

#### ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Исследования в области необычных, в первую очередь высших, состояний окисления  $d$ - и  $f$ -переходных элементов в нашей стране имеют давнюю историю. Они были начаты в

конец 60 — начале 70-х годов В.И.Спицыным в Институте физической химии АН СССР (это были преимущественно производные 5*f*-семейства элементов — актинидов) и на нашей кафедре в МГУ, где изучались соединения 4*f*-семейства — лантанидов — и *d*-переходных элементов (особенно в последнее время).

Научная значимость этих исследований несомненна: теоретический или эмпирический анализ тех или иных состояний окисления, в первую очередь аномально высоких или аномально низких, как правило, затрагивает глубинные проблемы теории химического строения.

Много дало это направление и для практики. Благодаря результатам, полученным при изучении 5*f*-элементов, были разработаны новейшие и самые разнообразные методы синтеза, повышена эффективность (за счет серьезной модификации) технологических схем по переработке ядерного горючего, существенно упростившая и удешевившая производство материалов новой техники. Отметим, что эти технологические схемы в значительной степени связаны с реализацией на разных стадиях окислительно-восстановительных превращений, в которых происходит изменение состояния окисления. Есть основания утверждать, что и дальнейший технологический прогресс может быть связан с изучением необычных валентных форм. К счастью, это направление продолжает развиваться в России и в настоящее время.

Надо сказать, что в международных научных журналах статьи о синтезе соединений элементов в необычных состояниях окисления публикуются без задержки, так как возлагаются большие надежды на практическое использование результатов (неорганические оксидные или фторидные материалы уже применяются в оптике, радиоэлектронике, электротехнике и т.д.).

Нельзя не упомянуть здесь хотя бы только имена тех, кто в 70—80-х годах внес вклад в разработку проблем валентных форм. Исследованием химических свойств трансактинидов, получением производных занимались: Н.Н.Крот и А.Д.Гельман (Np<sup>VII</sup>, Pu<sup>VII</sup>, Am<sup>VII</sup>); В.Ф.Перетрухин и др. (Cm<sup>VI</sup>); В.В.Аврорин с коллегами (Rn<sup>VI</sup>); В.Н.Косяков и др. (Cf<sup>V</sup>); Н.Бартлет и др. (Au<sup>V</sup>); П.Хагенмюллер и др. (Ag<sup>V</sup>); Ж.Буисьер и др. (Es<sup>IV</sup>, Cm<sup>V</sup>); Р.Хоппе и др. (Cu<sup>IV</sup>); В.И.Спицын и др. (Tm<sup>IV</sup>); ряда лантанидов и актинидов в низших состояниях окисления — Н.М.Михеев и др. Позже Спицыным и коллегами были установлены неизвестные ранее закономерности в лантанидной и актинидной сериях элементов; Н.С.Копелевым и др. получено Fe<sup>VIII</sup> и обнаружен Co<sup>VI</sup> в оксидных матрицах; Б.Фрике и др. определены химические свойства 104—106 элементов; Г.Шнерингом и коллегами получены данные о возможности достижения Hg<sup>IV</sup>.

Так что концепция валентности по сути дела жива и развивается в рамках химических теорий и эксперимента.

# Горный краб гнездится в раковине улитки

К. Н. Несис,

доктор биологических наук  
Москва

**В** НАШИХ широтах крабы — обитатели моря, а в тропиках, особенно во влажных, они живут и на пляжах, и по берегам рек, и в ручьях, и в лесах, и даже в горах. Там их насчитывается множество родов и видов. Главная их проблема — размножение.

У всех крабов самки носят икру на брюшке, из икры рождаются личинки. У морских и береговых крабов личинки вылупляются прямо в воду, и самки больше о потомстве не заботятся. Лесные же, что живут недалеко от берега, к моменту вылупления личинок мигрируют к морю и, окунув в прибой кончик брюшка, высвобождают их. А вот эндемик о.Ямайка краб *Armases miersii* (из обычного морского семейства Grapsidae) хотя и живет вблизи морского берега, однако высвобождает личинок на суше, в соленых лужах, что находится над максимальным уровнем прилива, куда долетают только брызги прибоя и где колебания температуры, солености и содержания кислорода чрезвычайно велики<sup>1</sup>. У речных крабов — крупные яйца и укороченное личиночное развитие, их личинки способны развиваться в пресной воде, а ее достаточно. Но как быть

горным крабам, которым до моря идти и идти? Только недавно стали выясняться подробности биологии их размножения.

Краб *Metopaulias depressus* из того же обычного для прибрежных морских вод семейства Grapsidae — эндемик гор на о.Ямайка. Как установил немецкий этолог Р.Дизель из Билефельдского университета<sup>2</sup>, живет этот краб во влажных лесах среди эпифитных растений семейства бромелиевых *Aechmea* и *Hohenbergia*. Из растений этого семейства (самое известное из них — ананас) получают популярное ныне средство для похудения бромелин, который наши малограмотные рекламщики переименовали в брамелайн. Так вот, в пазухах листьев бромелиевых скапливается вода — в ней-то крабы *Metopaulias* живут и рожают личинок. Икра у них крупная (1.2 мм), и развитие сокращено до 3 стадий. Но в пазухах листьев бромелиевых множество других обитателей, в том числе хищных личинок насекомых. Поэтому самкам *Metopaulias* приходится охранять личинок и молодь от хищников. *Metopaulias depressus* — первый известный вид крабов, проявляющий заботу о потомстве.

Кроме *Metopaulias*, в лесах Ямайки, проиврастаю-

щих на известковых холмах и горах, водятся еще пять эндемичных видов крабов-грапсид из рода *Sesarma*. Хотя годовое количество осадков превышает там 2000 мм, т.е. в 4—5 раз больше, чем в Москве, известковая почва так сильно пропускает воду, что в тех местах нет ни речек, ни ручьев, а в сухой сезон (январь-март) воды часто вообще нет нигде, кроме как в пазухах листьев бромелиевых. Но самки *Metopaulias* в свои жилища других крабов не допускают. Как же выходят из положения представители рода *Sesarma*? Дизель и его университетский коллега Д.Хорст выяснили, что *Sesarma jarvisi* гнездится и выращивает потомство в пустых раковинах наземных улиток<sup>3</sup>.

*S.jarvisi* — самый маленький из эндемичных наземных крабов Ямайки. Он достигает половозрелости при размере (ширина панциря) около 1 см, а размер самых старых, пятилетних самок не превышает 1.5 см. Живут эти крабы в западной части острова, на склонах гор и холмов, а также в долинах на высотах 100—930 м над ур. м. Укрываются они в глубоких (до 1 м) щелях и трещинах известнякового субстрата. Там более сыро и прохладно,

© Несис К.Н. Горный краб гнездится в раковине улитки.

<sup>1</sup> Schuh M., Diesel R. // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1995. V.185. P.109—129.

<sup>2</sup> Diesel R. // Animal Behaviour. 1989. V.38. P.561—575.

<sup>3</sup> Diesel R., Horst D. // J. Crustacean Biol. 1995. V.15. № 1. P.179—195.

чем в лесной подстилке, а главное — влажность и температура более стабильны. Любят они и каменные ограды заброшенных пастбищ. Питаются листьями, земляными червями, многоножками и т.п. Там, как и вообще в известняковых низкогорных районах (например, в Крыму и на Кавказе), множество улиток, а следовательно, и пустых раковин. *S. jarvisi* предпочитают раковины моллюсков рода *Pleurodonte*: низкие, с прижатым завитком, шириной 4—6 см, с размером устья 2—3 см — вход достаточно узкий, но внутри жилище просторное.

Пустых раковин — по несколько десятков под любым камнем, и в среднем в каждой восьмой находится гнездо краба. Самка очищает раковину и, дождавшись дождя, начинает таскать в нее воду. Может использовать и росу. По краю карапакса и у основания ног краба — множество перистых щетинок, хорошо собирающих воду, которую самка стряхивает в ракови-

ну. За несколько дней набирается с наперсток — до 5 мл. В этой воде она донашивает яйца (их в кладке от 3 до 24 диаметром 1.3 мм); там личинки рождаются, линяют, проходят весь цикл развития и превращаются в молодь; там же линяют и самки (будучи лишь целиком погружены в воду).

Но пустые раковины улиток служат жилищем и множеству иных животных: паукам, скорпионам, клещам, многоножкам, муравьям, другим насекомым и их личинкам. Если бы самка, выметав личинок, оставила их на произвол судьбы, как это делают морские крабы, их немедленно бы всех сожрали. Приходится охранять потомство. И она сидит в раковине, пока молодь не достигнет ширины панциря по крайней мере 3 мм, а часто — и 6.5 мм. Исследователи предполагают, что если самка покинула раковину раньше, чем потомство доросло до 6.5 мм, а это две трети размера взрослого краба,

то она просто испугалась присутствия человека.

С молодью самка остается по крайней мере 2—3 мес, а может, и до восьми. Исследователи не видели, чтобы она таскала в гнездо пищу для деток, но в раковинах постоянно находили остатки листьев и многоножек. Значит, она подкармливает свое потомство. К концу «насиживания» вода в раковине превращается в полужидкую грязь, но молодь успешно линяет и в ней. И только достигнув размера около 7 мм, подросшие молодые крабы покидают свое жилище и разбредаются по лесу. Половозрелости они достигают на втором году жизни, в возрасте 15—16 мес. Размножаются главным образом в конце лета и осенью, в сезон дождей.

Выходит, крабы тоже могут устраивать гнезда и заботиться о потомстве. Теперь мы знаем два таких вида, и оба — эндемики гор Ямайки.

## Знать — значит измерить

**В. Ю. Васильев**

Физиологический научно-исследовательский институт  
им. Ухтомского  
Санкт-Петербург

**Т**РЕВОГА соотечественников перед симптомами экологической катастрофы усиливается по причине почти полного незнания величины реальной опасности. Действительно, кто сегодня ответственно ответит на вопросы: где более неблагоприятна экологическая ситуация — в поселке вблизи целлюлозно-бумажного комбината или в городке рядом с нефтеперегонным заводом? Каким источником питьевой воды пользоваться — городским водопроводом или колодезной водой? Эффективен ли воздухоочистительный фильтр или он существует только для отвода глаз? Получить быстрый и конкретный ответ часто невозможно.

В то же время средства массовой информации буквально насыщены отрывочными сведениями, эмоционально подаваемыми фактами, сулящими неотвратимые бедствия буквально сегодня-завтра, и т.д. Однако в совокупности эти сведения не складываются в цельную и объективную картину происходящего. Например, мы можем быть информированы о содержании нитритов и нитратов в овощах, выращенных на конкретном поле, о содержании ртути и кадмия в костях рыбы, выловленной в определенном водоеме, о наличии фенолов и бензола в гидростоках отдельного предприятия (их количество может быть оценено в весо-

вых единицах и сопоставлено с нормами ПДК, которые так и остаются неясными). В то же время, мы не знаем и никогда не узнаем, какие еще гораздо более опасные токсиканты содержались в съеденных овощах, пойманной рыбе и утекшей воде. Складывается впечатление, что при всем обилии подходов, методов, приборов, тестов, санитарных норм и прочего мы так и не располагаем точной информацией о реальной загрязненности конкретных объектов. Поэтому, отдавая должное существующим методам выявления различных токсикантов, тем не менее нужно признать, что они дают весьма приблизительные представления о качестве окружающей среды. При этом совершенно очевидно, что нельзя до бесконечности расширять перечни обязательно определяемых веществ ввиду хотя бы все возрастающей стоимости анализов и техники. Несомненно, что для измерения загрязненности, создаваемой тысячами антропогенных и техногенных веществ, которые порождаются промышленностью, транспортом и энергетикой, необходимы иные подходы.

Один из них — метод интегрального биологического тестирования, активно разрабатываемый в последние годы. Действительно, кто, если не обитатель среды, наилучшим образом оценит ее общее состояние своим самочувствием, функциональной активностью, способностью существовать,

пусть и без ссылок на конкретную природу доминирующих загрязнителей. Основное преимущество такого подхода состоит именно в интегральном характере оценки состояния среды в целом вне зависимости от конкретной химической природы загрязнителей. В этом случае можно получить проекцию всей суммы присутствующих в среде веществ на выбранную функцию тест-объекта — бактерий, моллюсков, насекомых, рыб и пр.

Основной недостаток традиционного, «классического» биотестирования — качественный или полуколичественный характер оценки, страдающей, как правило, неизбежным субъективизмом. Кроме того, такая методика часто отличается длительностью анализа, нестандартностью тест-объекта и необходимостью привлечения профессионалов-биологов. Разумеется, если речь пойдет о необходимости изучить тысячи образцов, на действенную помощь методов «классического» биотестирования не следует рассчитывать. Однако сама идея использовать живое для анализа среды обитания человека представляется весьма ценной<sup>1</sup>.

Мы попытались сформулировать основные черты перспективной методики биотестирования, пригодной для экологической экспертизы: во-первых, она должна интегрально характеризо-

<sup>1</sup> Кривоулицкий Д.А. Индикационная зоология // Природа. 1985. № 7. С.86—91.



там неполного сгорания или окисления целлюлозы, пластмасс и т.д. Это открывало пути как для оценки интегральной загрязненности различных сред самыми разными веществами, так и для выявления индивидуальных веществ-загрязнителей, составляющих основной компонент в промышленном стоке. Разработанная нами чувствительная хемиллюминиметрическая техника позволяет количественно определять интегральную загрязненность. Здесь за условную единицу загрязненности принимаю количество веществ-загрязнителей, вызывающее 50%-е гашение световой эмиссии. Такое действие оказывают, например, 10 нг кадмия или 30 нг ртути, или 5 нг резорцина, или 10 нг бензохинона; а также водный экстракт из 1 мкл нефти или 10 мкл табачного дыма.

Очевидно, ферментная тест-система, определяющая содержание сильно различающихся между собой соединений (например, тяжелые металлы, органические соединения и компоненты сложных смесей веществ), сама должна быть достаточно сложной и многомишенной. Это значит, что она должна включать звенья, чувствительные к самым различным по химической природе соединениям. Вывод из строя хотя бы одного звена блокирует всю систему в целом. В данном конкретном случае это проявляется как гашение хемиллюминесценции. Здесь сами ферменты — достаточно чувствительные биосенсоры по отношению к тяжелым металлам; аминокислоты, входящие в активные центры ферментов, чувствительны к алкилирующим соединениям, промежуточные продукты ферментативных реакций активно взаимодействуют с электронацеп-

торными органическими соединениями и т.д.

Первые испытания системы прошли в дельте Невы и в водоемах Санкт-Петербурга, испытывающих мощный антропогенный пресс. Близость Финского залива с его пресловутой дамбой придавала особую остроту проблеме. Свой отпечаток на состояние воды в городских водоемах накладывали многочисленные фабрики и заводы, как правило, лишённые локальных очистных сооружений, несовершенная система городской канализации и общее захламление города. Знание состояния каждого из водоемов, впадающих в Неву или существующих изолированно от нее, необходимо для рациональной организации природоохранных мероприятий. Наша задача была выявить с помощью аналитической системы экологически опасные производства и ревизовать работу их очистных сооружений.

Сама Нева, ее главные притоки и промываемые неводской водой каналы относительно чисты (загрязненность 5—10 у.е.). В изолированных водоемах, таких как Суздальские озера, уровень загрязненности много выше (до 150—200 у.е.). Еще в большей степени загрязнены впадающие в Неву реки и речки, питаемые водоемами области и протекающие через промышленные районы, например реки Черная, Красненькая, Муринский ручей. Однако самой грязной оказалась р.Охта с притоками, один из которых, Оккервиль, по загрязненности во многие сотни раз превосходит Неву. Регулярное изучение состояния ряда городских водоемов и самой Невы показало, что существуют циклические (суточные и сезонные) колебания в уровне загрязненности, обусловлен-

ные производственными циклами, таянием снегов, выпадением осадков и рядом других причин. Такие колебания могут носить весьма резкий характер.

Особый интерес представляет экологическая экспертиза по критерию интегральной загрязненности кронштадтской дамбы — источника забот и тревог петербургских экологов. Неоднозначность предыдущих экспертиз, финансовая «ненасытность» стройки века, а также кипящие вокруг эмоции и страсти — все заставляет искать надежные и информативные средства для прояснения ситуации. А пока Маркизова лужа, надежно запечатанная дамбой, продолжает оставаться городским отстойником. Есть надежда, что хорошо организованный мониторинг вод залива на основе оценки интегральной загрязненности сможет прояснить картину.

Здесь мы коснулись только краешка проблемы — проблемы экологического картирования территории нашей страны, все еще остающейся белым пятном на мировых экологических картах. Каков объем этой работы? Как быстро следует ее провести? Какие финансовые затраты потребуются для ее осуществления? Пока трудно ответить на этот и многие другие вопросы. Несомненно одно — начинать эту гигантскую работу придется именно с интегральной оценки общей загрязненности, предшествующей использованию более специальных и следовательных, дорогих методов. Без этого мы по-прежнему будем плутать в потемках полуистин, вкладывать деньги в никуда, а качество жизни тем временем будет падать и падать. Воистину — чтобы знать, надо измерить!

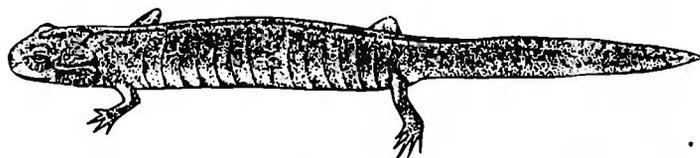
# Сохранился ли в природе туркестанский углозуб?

С. С. Козик

Псковский педагогический институт

**Ф**АУНА Средней Азии очень бедна земноводными животными, сухой и жаркий климат создает невыносимые условия для существования этих «любителей слякоти». Если бесхвостые — жабы и лягушки — как-то умудряются просуществовать в пекле азиатской жары, выставив мордочки из подогретой воды какого-нибудь арыка, то хвостатые — тритоны и саламандры — практически там не встречаются. Только в очень небольшом районе Джунгарского Алатау (Казахстан) обитает семиреченский лягушкозуб (*Ranodon sibiricus*) — единственный представитель хвостатых земноводных в Средней Азии. Но похоже, что там же обитает и еще один вид.

В самом начале века В.Н.Никольский побывал в Туркестане и привез, среди прочих животных, экземпляр хвостатого земноводного. Вначале он попал к М.А.Мензбиру, затем к И.И.Пузанову, П.П.Сушкину и, наконец, к А.М.Никольскому, который и определил принадлежность этого эк-



*Реконструкция внешнего вида туркестанского углозуба (по С. Л. Кузьмину, 1995).*

земляра к новому виду — углозубу туркестанскому (*Hynobius turkestanicus*). Сообщение об открытии нового вида появилось в 1909 г. в «Трудах Харьковского общества естествоиспытателей».

С тех пор никто больше не ловил и не видел этого существа в природе. Не нашли никаких следов хвостатых земноводных предшественники Никольского — А.П.Федченко и Н.А.Северцов, бывшие в этом районе в 1870-х годах и специально искавшие лягушкозубов. Все это создало ореол загадочности вокруг углозуба туркестанского. Одни специалисты, которых было большинство, сомневались в его существовании, другие считали исчезнувшим. Даже единственный экземпляр этого животного, к сожалению утерянный к настоящему вре-

мени, не мог пролить свет на проблему.

Идея заняться поисками углозуба пришла случайно. Зимой 1983 г. мы обсуждали с профессором А.Г.Банниковым план изучения безлегочного, или уссурийского, тритона (*Opuchodactylus fischeri*) — другого малоизученного земноводного, обитающего на юге Приморского края. План этот был осуществлен, и в результате удалось узнать кое-что о жизни тритона, получить единственные до сих пор данные по содержанию вида в неволе<sup>1</sup>. Позже, в 1989 г., была впервые (!) найдена кладка этой редкой, загадочной амфибии<sup>2</sup>. Во время бесед с Андреем Григорьевичем у нас и родилась идея поискать углозуба туркестанского.

Мы решили, что са-

© Козик С.С. Сохранился ли в природе туркестанский углозуб?

<sup>1</sup> Козик С.С., Труберг А.Г. Уссурийский когтистый тритон // Природа. 1985. № 9. С.55—57.

<sup>2</sup> Они же. Найдена кладка безлегочного тритона // Природа. 1991. № 7. С.84—85.

мыми надежными помощниками в поисках земноводного могут быть только дети — ведь взрослые обычно не обращают внимания на всякую мелочь, копошащуюся в траве, будь то лягушка или жук. В расчете на детей был изготовлен плакат: «ЮНЫЙ СЛЕДОПЫТ! Встречал ли ты или твои знакомые (охотники, пастухи) в вашей местности тритонов — похожих на небольшую ящерицу животных (5—10 см), живущих в воде или около воды? Узнай, спроси, поищи сам и потом напиши нам». Текст плаката был составлен на узбекском, таджикском и киргизском языках и разослан по школам Средней Азии.

Очень скоро мы получили ответы, в которых не только говорилось о находке интересующего нас животного, но и приводились некоторые данные о его биологии: обитает на берегу реки, под корнями кустов и среди камней; от человека прячется, имеет тонкий хвост. В письмах приводились местные названия углозуба, в переводе с узбекского и таджикского означающие «женское украшение-браслет» или «сосет сонную козу».

В Европе и на Кавказе о саламандрах, внешне сходных с углозубами, существует множество легенд, в которых упоминается о способности этих животных высасывать молоко у коз и даже коров.

Поэтому название «сосет сонную козу» вполне может относиться к углозубу, так как ни саламандры, ни какие-либо еще хвостатые амфибии в Средней Азии не обитают, кроме семиреченского углозуба, но он, как упоминалось, встречается в Казахстане.

Скорее всего углозуб туркестанский в Средней Азии не только существовал в начале века, но и сохранился до наших дней. Из ответов детей можно определить, где его надо искать. К сожалению, сейчас наша поездка в Среднюю Азию для поисков углозуба невозможна по финансовым причинам.

Однако мы абсолютно уверены, что он существует, и наша встреча с ним еще впереди.

## КОРОТКО

● Ни одно животное не может сравниться по интенсивности роста с лунной рыбой (*Moia moia*) из семейства иглобрюхообразных. Взрослая особь может достигать в длину до 3 м и весить до 1400 кг, что в 60 млн. раз превосходит массу только что вылупившегося малька. А икринка имеет диаметр около 1.5 мм. Самка луны-рыбы выметывает до 300 млн. икринок — больше, чем у любого другого вида рыб.

Среди живородящих животных чемпион роста — исполинский кенгуру

(*Macropus gigantea*): взрослый самец весит 90 кг, а рождается безволосым, полупрозрачным, величиной с горошину и менее одного грамма весом.

National Wildlife. 1995. V.33. № 5. P.37 (США).

● По данным Центра дистанционного мониторинга природной среды им. Ф.Нансена (Берген, Норвегия), где под руководством О.Йоханнесена (O.Johannesen) был проведен анализ информации, поступавшей в

период с 1978 по 1987 г. с борта ИСЗ «Нимбус», а начиная с 1987 г. — с «Оборонного метеоспутника», который запущен по программе военного ведомства США, площадь паковых и плавучих льдов в полярных регионах Земли неуклонно сокращается. Поверхность морских льдов в бассейнах Антарктики сократилась за 16 лет на 1.4%. Скорость таяния полярных льдов в Арктике возросла с 2.5% до 4.3% за десятилетие.

Nature. 1995. V.376. № 6536. P.126 (Великобритания).

NOTA BENE

**Европейское геофизическое общество учредило медаль Сергея Соловьева**

В мае 1996 г. Европейское геофизическое общество (ЕГО), объединяющее геофизиков европейских стран, включая Россию, отмечало 25-летие своего основания. На состоявшейся в Гааге (Нидерланды) XXI Генеральной ассамблее проходила церемония присвоения почетных званий, вручения памятных значков, наград и именных медалей, в том числе только что учрежденной медали Сергея Соловьева (за время своего существования ЕГО учредило всего семь именных медалей).

Сергей Леонидович Соловьев (1930—1994) — академик РАН, видный российский геофизик<sup>1</sup>. Медаль его имени была учреждена в связи с инициативой Международной рабочей группы по природным катастрофам в знак признания научных достижений С.Л.Соловьева. Ею награждаются ученые, внесшие крупный вклад в углубление фундаментальных и прикладных знаний,



*Медаль Сергея Соловьева. Впервые в истории Европейского геофизического общества учреждена памятная наградная медаль имени российского ученого. В статусе этой медали отмечено: «Медаль учреждена с 1996 г. Международной рабочей группой по природным катастрофам в качестве признания научных достижений Сергея Соловьева.*

*Она предназначена для вручения ученым за исключительный вклад в изучение природных катастроф, в частности за фундаментальные и прикладные исследования, направленные на уточнение оценки возможных последствий в целях защиты окружающей среды, социально-экономических систем и сохранения человеческих жизней».*

<sup>1</sup> Подробное жизнеописание и перечень научных трудов см.: Сергей Леонидович Соловьев. 1930—1994 // Материалы к биобиблиографии ученых. Сер. физ. Вып. 38. М., 1994.

связанных как с оценкой последствий катастрофических событий в природной среде, так и с рекомендациями по практическому уменьшению разрушений и сохранению человеческих жизней.

Первым лауреатом медали Сергея Соловьева стал португальский геофизик Луис Альберто Мендес-Виктор (L.A.Mendes-Victor) из Лиссабонского университета. Он удостоен ее, как сказано в наградном листе, «за выдающиеся работы в областях сейсмологии, цунами, изучения гидрологических и геологических катастроф, в комплексном исследовании окружающей среды на междисциплинарном и международном уровне». На торжества по случаю вручения этой медали была приглашена вдова С.Л.Соловьева — О.Н.Соловьева, старший научный сотрудник Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН.

Медаль имени известного сейсмолога Бено Гуттенберга была вручена Франку Прессу (F.Press), бывшему президенту Национальной академии наук США, чьи работы внесли немалый вклад в познание твердого тела Земли.

Научная деятельность норвежского океанолога Андерса Стигенбрандта (A.Stigenbrandt) удостоена медали Фритьофа Нансена.

Лауреатом медали Милутина Миланковича стал шведский метеоролог и климатолог Леннарт Бенгтссон (L.Bengtsson). Следует сказать, что среди ранее награжденных ею значится один из крупнейших специалистов в области изучения атмосферы швед Берт Болин (B.Bohn).

Успехи в исследовании солнечно-земных связей, достигнутые Бенгтом Хультквистом (B.Hultquist) из

Швеции, отмечены медалью, носящей имя немецкого специалиста по геомагнетизму и аэрономии Юлиуса Бартельса.

Французский ученый Даниэль Готье (D.Gautier) за работы по планетологии, эволюции и строению Солнечной системы получил медаль имени британского астронома и астрофизика, редактора ведущих геофизических изданий, члена Королевского общества сэра Дейвида Роберта Бейтса.

Медаль Луи Эжена Феликса Нееля (нобелевского лауреата 1970 г. по физике за открытия в области изучения антиферромагнетизма, имевшие важное значение и в фундаментальной геофизике) в этом году было решено никому не присуждать.

Ряд молодых ученых получил специальные награды за свои первые заметные публикации. Выделены средства для оплаты поездок молодых европейских геофизиков на различные симпозиумы и конференции. Особое решение ЕГО касалось ассигнований отдельным специалистам из стран Восточной Европы для их поездок и участия в научных мероприятиях, проводимых Обществом.

Утверждена предварительная научная программа Генеральной ассамблеи ЕГО, которая состоится в Вене 21—25 апреля 1997 г.

European Geophysical Society Newsletter. 1996. № 58. P. 5, 27, 28 (Нидерланды).

#### Космические исследования

### Поиск неизвестных планет и жизни на них продолжается

В последнее время уже не раз сообщалось об от-

крытии вне Солнечной системы планет, обращающихся вокруг различных звезд. Наблюдения, результаты которых с большой вероятностью указывают на их существование, выполнялись с помощью наземных телескопов, а также косвенными методами — главным образом посредством анализа «искажений» в движении тех звезд, вокруг которых обращаются предполагаемые планеты.

Новую методику предложили Р.Энджел и Н.Вулф (R.Angel, N.Woolf; Университет штата Аризона, Тусон) на конференции Американской ассоциации развития науки (Балтимор, февраль 1996 г.). Наилучшим вариантом, по их мнению, стала бы запущенная на орбиту вокруг Юпитера обсерватория с четырьмя инфракрасными телескопами, способными вести не только независимые наблюдения, но и работать совместно — в режиме интерферометра. Такая система, названная «OASES» («Outpost for Analysis and Spectroscopy of Extra-Solar Systems» — «Аванпост анализа и спектроскопии внесолнечных систем»), сможет наблюдать подобные объекты непосредственно. Собрать «OASES» предполагается руками астронавтов на околоземной орбите, после чего — перевести ее на орбиту вокруг Юпитера, где количество космической пыли, рассеивающей свет и препятствующей наблюдениям, заметно меньше, чем в околоземном пространстве.

Наблюдения следует вести в инфракрасной части спектра, в которой лежит максимум излучения, отраженного планетой.

Чтобы отличить планету от звезды, необходима большая апертура (диаметр входного отверстия телеско-

па), а кроме того — система блокирования излучения звезды, которое даже в инфракрасной части спектра превосходит яркость планеты примерно в 10 млн. раз. Для этого все четыре зеркала диаметром по 1 м предлагается разместить на раме длиной 50 м. Работая в режиме интерферометра, «OASES» сможет отличить планету от звезды, используя их взаимное перемещение.

По оценкам, на получение изображения всей планетной системы потребуется всего около 10 ч. Если же станция продержит в своем фокусе планетную систему в течение трех месяцев, то удастся получить и спектр излучения планет, в котором могут быть различимы линии переходов в молекулах диоксида углерода, озона, водяных паров. Присутствие подобных молекул на любой планете делает вероятным существование там каких-либо форм жизни.

Идея аризонских астрономов нашла положительный отклик у руководства НАСА. Проект рассчитан на 15 лет и должен обойтись в 2 млрд. долл.

New Scientist. 1996. V.149. № 2017. P.10 (Великобритания).

#### Космические исследования

### «Второй оборот вокруг Солнца»

Прошло шесть лет с тех пор, как автоматическая космическая станция «Улисс» приступила к изучению Солнца. За это время аппарат впервые в истории прошел над его северным и южным полюсами. Еще в феврале 1992 г. посланец Земли совершил гравитаци-

онный маневр, воспользовавшись мощным тяготением Юпитера, и вышел на эллиптическую орбиту, сильно наклоненную к плоскости эклиптики, с периодом обращения около 6.2 года.

Для астрофизиков, гелиофизиков и геофизиков важно то, что прохождение «Улисса» над высокоширотными областями Солнца совершалось в период, близкий к минимуму солнечной активности. Это позволило провести ряд наблюдений, интересных для изучения солнечно-земных связей.

Учитывая успех этой миссии, ее организаторы — НАСА США и Европейское космическое агентство — приняли решение продолжить операцию, которая теперь названа «Второй оборот вокруг Солнца». Ее цель — наблюдать процессы в высоких широтах во время высокой солнечной активности, используя пролеты «Улисса» в 2000 и 2001 гг. Однако немалый интерес представляет пребывание над околополярными районами Солнца и в промежуточные отрезки времени. В частности, важно уже начатое картирование эволюции гелиосферы во времени и пространстве при движении аппарата по его внеэклиптической орбите.

Пройдя северополярную область Солнца в марте—апреле 1996 г. и направляясь к афелию, «Улисс» начал смещаться в более низкие широты. По мере удаления от Солнца он приобретает отличную возможность во второй раз провести съемку в полосе широт между 70° и 0° с расстояния от 2.2 до 5.4 а.е. Это позволит проверить, насколько репрезентативными были наблюдения, выполненные ранее на траектории сближения с Со-

лнцем. Кроме того, летом 1996 г. «Улисс» выполнил ряд наблюдений, скоординированных с космическим аппаратом «SOHO» («Solar and Heliospheric Observatory»), запущенным 2 декабря 1995 г. и вышедшим на рабочую орбиту в середине февраля 1996 г.

Вблизи афелия (на расстоянии 5.4 а.е. от Солнца) «Улисс» проведет относительно долгое время, в течение которого его солнечная широта и радиальное расстояние будут медленно изменяться. Такое «зависание» в пространстве весьма удобно для изучения межзвездной пылевой среды и улавливания ионов, так как они очень характерны для области, удаленной от Солнца более чем на 3 а.е.

Период обращения «Улисса» (6.2 года) близок к половине цикла солнечной активности. За это время можно провести много измерений на различных стадиях этого цикла. Так, отмечено, что зарегистрированная в период минимума солнечной активности относительно простая конфигурация солнечной короны с ее большими корональными дырами над полярными шапками сменилась затем значительно более сложной картиной, включающей высокоширотные стримеры (языки плазмы, извергаемые Солнцем). Ближе к максимуму активности начинают доминировать быстротечные явления (вспышки, корональные выбросы солнечных масс и т.п.). Они существенно изменяют структуру солнечного ветра, характер космических лучей и высокоэнергетических частиц солнечного происхождения.

«Улисс» даст беспрецедентные возможности для трехмерного изучения ге-

лиосферы и ее эволюции от минимума к максимуму солнечной активности. Этим объясняется большой интерес специалистов к уникальному эксперименту.

Solar System News. 1996. № 17. P.1 (Нидерланды).

#### Астрофизика

### Нашлись «пропавшие» квазары

Два года назад группа австралийских астрономов во главе с Р.Уэбстер (R.Webster; Мельбурнский университет) пришла к весьма неожиданному выводу: среди всех существующих во Вселенной квазаров около 80% остаются неоткрытыми. Как известно, квазар — невероятно мощный точечный источник радиоизлучения; по одной из гипотез он представляет собой удаленную активную галактику, которая получает энергию в результате аккреции вещества на сверхмассивную черную дыру, находящуюся в центре квазара.

Проведя наблюдения нескольких сот квазаров, австралийские ученые обнаружили, что излучение около 80% из них необычайно сильно сминуто в красную часть спектра. Астрономы же, работающие с оптическими приборами, ищут квазары, как правило, среди голубых объектов. Если большинство квазаров — красные, значит, основная их масса нам все еще неизвестна.

Однако в марте 1996 г. английские астрономы С.Серджент (S.Serjent; Имперский колледж в Лондоне) и С.Роулингс (S.Rawlings; Оксфордский университет) «успокоили» своих коллег, показав, что кваза-

ры, наблюдавшиеся австралийскими учеными, «нетипичны».

Уэбстер и ее сотрудники полагали, что «покраснение» изучаемых объектов вызвано космической пылью, присутствующей в любой околочварной области. Однако английские астрономы указывают, что квазары, наблюдавшиеся австралийцами, обладают плоским, «сплюснутым» радиоспектром. Другими словами, спектральная яркость их излучения в радиодиапазоне с повышением частоты понижается очень медленно. А это считается важным признаком таких объектов. Квазары, изучавшиеся группой Уэбстер, сильно излучают на высоких радиочастотах — в красной области оптического спектра. В таком случае наблюдаемое красное излучение вызывается не космической пылью, а имеет ту же синхротронную природу, что и радиоизлучение квазаров: заряженные электроны излучают, двигаясь с релятивистской скоростью по спирали вдоль магнитно-силовых линий. Но при этом возбуждается лишь плоский спектр красного излучения, что характерно лишь для небольшой группы квазаров.

Таким образом, число «упущенных» астрономами квазаров никак не может быть значительным.

Nature. 1996. V.379. № 6563. P.304 (Великобритания).

#### Астрономия

### Как разламываются кометы

В сентябре 1995 г. светимость известной кометы Шваассмана—Вахмана-3 совершенно неожиданно

возросла в 1000 раз, и к октябрю ее уже можно было наблюдать невооруженным глазом. Естественно, это привлекло внимание множества астрономов. В середине декабря 1995 г. Г.У.Кауфль (H.U.Kauf; Мюнхенский университет им. Людвига Максимилиана, Германия), работая на 3.6-метровом инфракрасном телескопе Европейской южной обсерватории в Ла-Силла (Чили), установил, что комета развалилась на три небесных тела.

В то же самое время его коллега Г.Бёнхардт (H.Bohnhardt), используя оптический Телескоп новой технологии (NTT) той же обсерватории, обнаружил на месте этой кометы три объекта, два из которых совпадали с наблюдавшимися в инфракрасной части спектра. Астрономы пришли к заключению, что три или четыре обломка кометы расходятся друг от друга со скоростью около 250 км в сутки.

Дж.Б.Скотти (J.B.Scotti; Университет штата Аризона, Тусон, США) 27 декабря 1995 г., находясь на Китт-Пикской обсерватории (штат Аризона), также наблюдал разделение кометы на отдельные фрагменты. На следующий день аналогичное сообщение поступило и с обсерватории Модра в Словакии.

По мнению известного специалиста по малым небесным телам Б.Марсдена (B.Marsden; Смитсоновская астрофизическая обсерватория, Камбридж, штат Массачусетс, США), если распад кометы Шваассмана—Вахмана-3 произошел в сентябре 1995 г., этот факт может объяснить столь яркое ее свечение. Воздействуя на свежееобнаженные поверхности разлома, солнечное излучение усилива-

ет выделение газов и пылевых частиц из тела кометы, и они начинают интенсивнее рассеивать свет. Если бы комета Шумейкеров—Леви-9 не развалилась примерно на 20 фрагментов, то, весьма вероятно, ее сближение с Юпитером и падение на его поверхность в июле 1994 г. вообще могло бы пройти незамеченным с Земли.

Иной точки зрения придерживается Кауфль, полагающий, что распад кометы Швассмана—Вахмана-3 произошел уже после усиления ее блеска. Изображения кометы, полученные другими астрономами ЕЮО в Ла-Силла в начале декабря 1995 г., никаких следов ее обломков не обнаруживают — на них различимо ее единое вытянутое ядро. По мнению Кауфля, хотя распад произошел после увеличения блеска, оба события имеют общее происхождение. Трещины и расселины в ледяном ядре кометы могли расширяться во время сближения с Солнцем в сентябре, выпуская на поверхность все новые массы пылевых частиц и газов, способствуя росту свечения. Эти же трещины позже привели к ее разлому на отдельные фрагменты.

Так или иначе, замечает Марсден, все эти события подтверждают гипотезу, что кометы — весьма хрупкие тела. За последние годы астрономам разных стран удалось наблюдать около 30 случаев распада кометных ядер, что и легло в основу вполне приемлемого для специалистов утверждения: эти ледяные небесные тела в действительности не являются «монолитами», а скорее напоминают смерзшийся ком, который состоит из отдель-

ных «снежков», каждый величиной с небольшой дом.

Circular of the International Astronomical Union. 13.12.1995; Science News. 1996. V.149. № 2. P.26 (США).

Планетология

**«Веснушка» на лице Ио**

На изображении поверхности Ио — спутника Юпитера, — полученном в июле 1995 г. с помощью приборов Космического телескопа им. Хаббла, обнаружено ранее не наблюдавшееся крупное яркое пятно. Его не было на фотографиях, сделанных при сближении с Ио двумя американскими космическими аппаратами «Вояджер» в 1979 г., и даже на сравнительно недавних изображениях, полученных с помощью Телескопа им. Хаббла в марте 1994 г. Очевидно, этот объект появился в 16-месячный промежуток между последними наблюдениями:

Пятно диаметром 350 км точно совпадает с местоположением известного ранее вулкана Ра Патера, что с большой вероятностью указывает на его вулканическое происхождение. Светимость и желтизна окраски пятна превосходит все, что известно на поверхности Ио, вообще отличающейся значительной «пятнистостью».

По мнению Дж.Спенсера (J.Spencer; Лоуэлловская обсерватория, Флагстафф, штат Аризона, США), подобная окраска пятна может быть вызвана присутствием свежих замороженных отложений летучего газа, содержащего значительное количество серы. Если это справедливо, то по мере испарения газа яркость пятна должна уменьшиться.

Центр управления полетом передал на борт Космического телескопа им. Хаббла задание провести непрерывные наблюдения за эволюцией пятна.

New Scientist. 1995. V.148. № 2001. P.20 (Великобритания).

Физика атмосферы

**Рекордная озоновая дыра над Северной Европой**

Работы, выполненные под руководством Г.Бротена (G.Braaten; Норвежский институт атмосферных исследований), показали, что с середины января до середины марта 1996 г. в стратосфере над некоторыми крупными районами Арктики концентрация озона снизилась на 40% и даже более. Над Британскими островами в первой неделе марта потеря  $O_3$  приблизилась к 50%. Правда, в данных возник существенный пробел в связи с тем, что временная озонометрическая сеть, действовавшая по всей Европе в течение двух последних лет, была в значительной мере свернута, и о глубине озоновой дыры можно судить лишь косвенно.

Известно, что истощение озоносферы обычно наступает в области полярной воронки; как правило, в Арктике зимой ненадолго стабилизируются массы холодного воздуха, и по мере падения температуры в пределах воронки начинают образовываться облака ледяных частиц — именно в них и происходит разрушение молекул  $O_3$ .

Воронка обычно захватывает север Канады, Сибирь или Скандинавию, од-

нако в 1996 г. она преимущественно оставалась в Европейском секторе Арктики.

Мощность озонового слоя над Великобританией зимой составляет в среднем 365 единиц Добсона (Д), но в середине февраля 1996 г. на станции Леруик (Шотландские о-ва) она достигла рекордно низкого показателя — 212 Д, а затем этот показатель снизился еще, и 5 марта он составлял 195 Д (лишь 53% среднего многолетнего для марта). Новый «рекорд» истощенности озоносферы был установлен и на озонметрической станции Кемборн (п-ов Корнуолл) — 206 Д по состоянию на 3 марта.

Такую тенденцию, отмечавшуюся в 1992, 1993 и 1995 гг., специалисты считают следствием двух факторов: продолжающегося накопления в атмосфере озоноразрушающих химических веществ и (основной) последовательного похолодания стратосферы над Арктикой, что способствует образованию на больших высотах переохлажденных облаков.

Метеоданные, проанализированные С.Паузенем (S.Pausen; Свободный университет, Берлин), свидетельствуют, что на высоте около 20 км температура зимнего воздуха над Арктикой в 1990-х годах была ниже, чем в любое иное время за весь период ее измерений. В январе-феврале 1996 г. рекордно низкие температуры держались там неделями. Н.Харрис (N.Harris; Европейская координационная группа по изучению озона, Кембридж, Великобритания) указывает на необычность ситуации, заключающейся в том, что из-за крайне низких температур полярные стратосферные облака на этот раз возникали по краям ворон-

ки, что приводило к значительному разрушению озоносферы даже на средних широтах, включая Великобританию.

Причина такого похолодания стратосферы неизвестна; не исключено, что она связана с глобальным потеплением, вызывающим компенсирующий эффект на больших высотах.

New Scientist. 1996. V.149. № 2021. P.7 (Великобритания).

#### Физика

### LEP-2 начинает давать результаты

Модернизация Большого электрон-позитронного коллайдера (Large Electron-Positron collider — LEP), которая интенсивно велась прошлой зимой в ЦЕРНе, по сути превратила его в новый ускоритель, и называется он теперь LEP-2. Основные характеристики этого сложного комплекса дают представление о его масштабах.

ходя весь ускоритель 11 200 раз за секунду.

LEP предназначался для изучения одного из видов фундаментальных сил — слабого взаимодействия. Эти силы действуют в недрах Солнца, участвуют в некоторых процессах радиоактивного распада. Переносчиками слабого взаимодействия служат промежуточные бозоны: заряженные  $W^+$  и  $W^-$ , нейтральный  $Z^0$ . В течение семи лет LEP работал на энергиях, недостаточных для рождения  $Z^0$ , что позволило весьма точно определить массу этой частицы:  $91.1884 \pm 0.0022$  ГэВ. В LEP-2 достигаются энергии примерно вдвое большие, и теперь можно сделать новый шаг в изучении слабых сил — приступить к получению пар частиц  $W^+W^-$ .

Энергии LEP-2 увеличены за счет ввода новых сверхпроводящих резонаторов, которые ускоряют частицы значительно эффективнее, чем обычные медные. Осенью 1995 г., когда установили первые 60 сверхпроводящих резонато-

#### LEP в цифрах:

Длина пути в ускорителе	26.659 км
Глубина туннеля	от 50 до 175 м под землей
Число:	
дипольных отклоняющих магнитов	3368
фокусирующих квадрупольей	816
фокусирующих секстипольей	504
корректирующих магнитов	700

Все компоненты смонтированы с точностью до 0.1 мм, давление в пучковой трубе составляет миллиардную долю атмосферного. Электроны и позитроны движутся в трубе со скоростью, лишь немного меньшей скорости света (всего на 0.035 км/ч), про-

ров, был осуществлен первый скачок в энергии — от 90 до 140 ГэВ, а следующие 84 резонатора, подключенные в течение зимы, увеличили энергию столкновений пучков до 161 ГэВ. Этого достаточно для рождения пар  $W^+W^-$ , и в начале июля первая пара

**Поэтапное наращивание мощности LEP-2**

Дата	Число медных резонаторов	Число сверхпроводящих резонаторов	Ускоряющее напряжение за виток, МВ	Энергия пучка, ГэВ
1990 ноябрь	128	0	300	45
1995 июнь	120	60	750	70
1996 октябрь	120	144	1600	81
1996	120	172	1900	88
1997	86	240	2500	94
1998	52	272	2700	96

этих частиц была зарегистрирована. К 1998 г. будут добавлены еще 128 сверхпроводящих резонаторов; энергия столкновений при этом составит 192 ГэВ.

Каждый шаг в сторону больших энергий несет надежды на новые открытия, и физики с нетерпением ждут от работы LEP-2 сюрпризов. Может быть, удастся наблюдать бозон Хиггса, который уже долго ищут? Или появятся данные для новой теории Вселенной? Многие теоретики предсказывают, что такая теория, называемая суперсимметрией, уже на подходе, и суперсимметричные частицы только и ждут своего открытия. Если эти представления верны, то можно рассчитывать, что одна из самых легких таких частиц будет обнаружена на LEP-2.

Пресс-релиз ЦЕРНа. 10.07.1996 (Швейцария).

**Биология**

**Красная водоросль, как скатерть-самобранка: больше ешь — скорее растет**

На мелководных коралловых рифах Карибского моря большие площади за-

нимают поля корковых известковых красных водорослей (*Porolithon pachydermum*). На них живут и кормятся небольшие (2—3 см) малоподвижные панцирные моллюски-хитоны (*Choperox lata*), которые обитают только на поролитоне. Овальной подошвой ноги хитон плотно присасывается к поверхности; его спина прикрыта раковиной из восьми пластинок, налегающих друг на друга, подобно черепице.

Исследования американских биологов М. и Д. Литтлеров (M.M.Littler, D.S.Littler; Национальный музей естественной истории, Смитсоновский институт, Вашингтон) и Ф.Тейлора (Ph.R.Taylor; Программа Национального научного фонда по биологической океанографии, Арлингтон), которые они провели на Барьерном рифе Белиза и у берегов Юкатана (Мексика) и Гондураса, показали, что в западной части Карибского моря поролитон занимает в среднем 13%, а иногда до 70% площади рифа, средняя же численность хитонов составляет 664 особи на 1 м<sup>2</sup>. Хитоны питаются верхней, живой тканью водоросли, а в отмерших водорослях прогрызают целую сеть ходов, которые с поверхностью соединены отверстиями для смены воды — в среднем шесть отверстий на одного

моллюска. В ходах такого «швейцарского сыра» моллюски недоступны ни для хищных рыб и лангустов, ни для волн прибоя. Половину пищи хитонов составляет поролитон, остальное приходится на долю растущих на поролитоне бактерий и микроводорослей (преимущественно синезеленых и диатомовых). Так что поролитон для хитонов — и стол, и дом. Кроме хитонов известковыми водорослями мало кто питается — слишком мала их пищевая ценность, зато и живут они очень долго.

Но самое интересное в том, что питание хитонов способствует лучшему росту самой водоросли. Эксперименты с удалением хитонов продемонстрировали, что их кормление стимулирует фотосинтез и рост поролитона. Хитоны поедают самый верхний слой толщиной около 10 мкм, а живые ткани поролитона находятся глубже 20 мкм. Счищая, подобно мозольному оператору, верхний слой отмерших тканей, хитон обеспечивает доступ света и воды с питательными веществами к фотосинтезирующим, растущим и репродуктивным тканям. Кроме того, хитоны поедают споры и проростки других водорослей, которые оседают на поверхность поролитона. Если хитонов удалить, другие водоросли сильно размножаются и отбирают у поролитона свет и питательные вещества. Более того — размножившиеся водоросли привлекают растительоядных рыб-попугаев, а их мощные клювы счищают не только растущие на поролитоне эпифиты, но и сам поролитон почти до основания.

Хотя способность поролитона к регенерации тканей велика, без хитонов, как показал 14-месячный опыт, красная водоросль не только

не растет, а убывает. Прогрызенные же хитонами ходы никак не вредят им. Особенно ускоряется рост водоросли вблизи отверстий, где водообмен усилен. Поэтому ходы хитонов значительно увеличивают биомассу водоросли, рассчитанную на единицу плоской поверхности субстрата. Поистине красная водоросль для хитона — что скатерть-самобранка: чем быстрее ешь, тем больше пищи!

Взаимовыгодное сотрудничество поролитона и хитона имеет большое биологическое и геологическое значение. Известковые красные водоросли скрепляют и цементируют создаваемую кораллами основу рифа и лучше кораллов противостоят волнам прибоя. Радиоуглеродная датировка подошвы слоя поролитона на отмерших кораллах показала, что ее возраст 100—113 лет, а скорость роста — 1—4, в среднем — 2.3 мм в год. Кажется, немного, но за тысячу лет это уже 2—2.5 метра! Такой прирост защищенной хитонами красной водоросли полностью перекрывает биоэрозию рифа вследствие кормления рыб-попугаев и десятильщиками сверлильщиками и обеспечивает не только сохранение, но и рост скрепляющей риф биоструктуры. Цементированный же водорослями риф защищает сушу (мангры и тропические леса на прибрежных равнинах) от разрыва волнами, особенно в сезон ураганов. В каком-то смысле существование прибрежных рифов всего Карибского моря зависит от благополучия ассоциации известковой водоросли и панцирного моллюска. Аналогичная ассоциация, только с другими видами известковых водорослей и хитонов, известна и на тихоокеанских рифах.

Ecology. 1995. V.76. № 5. P.1666—1681 (США).

## Полку приматов прибыло

Еще К.Линней, создатель науки о классификации видов, отнес кролика к семейству «лагоморфов» (т.е. зайцеобразных), входящему в отряд (или подкласс) грызунов.

Со временем вопрос о таксономии зайцеобразных не раз пересматривался: то их объявляли подотрядом грызунов, то возводили в ранг совершенно самостоятельного отряда. Сейчас зайцеобразные и грызуны соединены в суперотряд Glires.

И вот совсем недавно зоолог Д.Граур (D.Graur; Тель-Авивский университет, Израиль) совместно со своим коллегой Л.Дюре (L.Duret; Университет им. Клода Бернара, Лион, Франция) аргументированно предложили снова изменить эту классификацию на основании данных о строении некоторых белков.

Исследователи анализировали белки из 91 образца тканей, взятых у кроликов, грызунов и других отрядов млекопитающих. При этом оказалось, что зайцеобразные занимают место на одной эволюционной ветви с... приматами. Таким образом, таксономическое подразделение Glires следует немедленно признать ошибочным. Ведь, если не считать малайского шерстокрыла *Syncephalus variegatus* и тупайю *Tupaia raffles*, все приматы куда ближе к зайцеобразным, чем любой другой из млекопитающих.

Морфологическое сходство между кроликами и грызунами Граур считает результатом параллельной эволюции.

Nature. 1996. V.379. № 6563. P.333 (Великобритания).

## Магнит в рыбьем носу

Как ориентируются животные, преодолевающие иногда громадные воздушные или водные пространства, чтобы продолжить свой род там, где родились сами? Однозначного ответа до сих пор нет, но по одной из версий прокладывать курс им помогает некое подобие компаса, имеющегося в их организме.

К.Дибел (C.Diebel; Оклендский университет, Новая Зеландия) с коллегами обнаружила у радужной форели (*Salmo iridens*) нерв, который отчетливо реагирует на магнитное поле, а непосредственно над ноздрями — скопление частиц, содержащих железо, видимо кристаллы обыкновенного магнетита.

С помощью красителя, введенного в этот нерв, исследователи выяснили, что между мозгом рыбы и областью, где находятся магнитные кристаллы, имеется прямая нервная связь.

Теперь биологи намерены изолировать содержащие магнетит клетки, чтобы исследовать чувствительность этого «компыса» к величине магнитного поля и его направленности. И как работает мозг, получивший такую информацию и направляющий рыбу на нерест по строго определенному пути.

Science News. 1995. V.148. № 2. P.31 (США).

Ботаника

## «Репатриация» рододендронов

Когда-то Китай, особенно горные районы Юньнани и Сычуаня, изобилова-

ли древесными кустарниковыми зарослями рододендронов. Но в последние полвека эти дошедшие до нас из глубины веков кустарники стали заметно редеть. Их вырубали ради дефицитной в стране древесины, а на месте лесов разбивали поля и разводили пастбища, необходимые быстро растущему населению. Рододендрону, пережившему динозавров, угрожало исчезновение. К счастью, вот уже столетие знаменитый Королевский ботанический сад в Эдинбурге собирает живую коллекцию этих растений. Сейчас она насчитывает более 250 видов, причем многие из них (если не большинство) представлено несколькими экземплярами.

Недавно китайские ботаники заключили договор с британскими коллегами на предмет создания второго в мире «рододендрового центра». К началу 1996 г. 220 растений, представляющих около сотни видов, уже поселились в ботаническом саду Хуа Цзи, что на горных склонах Сычуанского плато. По мнению руководителя этой операции английского ботаника Д.Паттерсона (D.Patterson), условия здесь для них лучше, чем в Эдинбурге: как-никак — родина. В марте 1996 г. другие виды «репатрируются» в более теплый равнинный район в провинции Гуйчжоу (китайские власти обещают организовать им здесь должную охрану и изменить планы затопления местности при строительстве ГЭС).

Для ботаников особенно важно то, что шотландские ученые в свое время точно регистрировали место происхождения каждого растения. Некоторые виды на своей «исторической родине» с тех пор уже просто

полностью исчезли, но теперь им предоставляется новый шанс выжить.

New Scientist. 1996. V.149. № 2011. P.10 (Великобритания).

## Зоология

### Радиография, математика и биология размножения ящериц

Уходят в прошлое времена, когда полевые зоологи вскрывали самок животных, чтобы выяснить, какое потомство они могли бы принести. За последнее десятилетие в герпетологии, например, все более широкое применение находят радиографические методы, позволяющие, не убивая животных, узнать, сколько яиц или эмбрионов располагается в чреве самки змеи, ящерицы или черепахи, какой стадии развития они достигли и когда можно ожидать потомства. Разработаны приборы для лабораторных и полевых исследований. Такой подход не только облегчает работу, но имеет явно выраженную этическую и природоохранную ценность.

Но и он не лишен изъянов. В частности, точное определение размера кладки (или помёта — у живородящих пресмыкающихся) возможно только у видов с относительно небольшим потомством — несколько экземпляров. При большом наполнении чрева яйцами или детенышами их радиоизображения сливаются. Важную зоотехническую и природоохранную задачу — определение точных сроков родов или откладки яиц — также не удается решить, по крайней мере одноразовой радиографией.

Э.Альбертс из Центра

разведения охраняемых видов Зоологического общества Сан-Диего попыталась преодолеть эти сложности с помощью математической модели<sup>1</sup>.

В качестве объекта была использована исчезающая в природе крупная игуана *Suclura pubila*. Этот вид поддерживается разведением в неволе; кроме того, осуществляется программа сбора яиц в природе с последующей их инкубацией. В обоих случаях знание точных данных о сроках откладки яиц и размерах кладок повышает успех работ.

Радиографически Альбертс определяла количество видимых яиц (находящихся на разных стадиях развития), их размеры, форму и расположение в полости тела у 20 ящериц. Эти параметры вместе с размерами тела самки послужили основой для расчета математической модели, позволяющей оценивать реальный размер кладки и время откладки яиц. Через 18—81 сут. после радиографической оценки самки отложили каждая от 2 до 16 яиц. Сопоставление расчетных и реальных данных показало, что предсказания математической модели были достаточно хорошими: точность определения количества яиц в кладке составила  $0.53 \pm 0.08$  яйца, а точность оценки времени откладки —  $6.22 \pm 0.81$  сут. Предполагается, что разработанная модель может применяться и для оценки соответствующих параметров у близких видов.

© Д.В.Семенов,  
кандидат биологических наук  
Москва

<sup>1</sup> Alberts A. // Zoo Biology. 1995. V.14. № 6. P.543—553.

## Этология

**О социальных системах у змей**

Среди позвоночных животных змеи относятся к числу наиболее асоциальных. Из направленных друг на друга форм поведения у них известны лишь весьма лаконичные брачные игры и очень сходная у разных видов ритуализованная борьба самцов в брачный период. Причем последняя, известная как брачные «турниры» или «танцы», отмечена лишь у немногих видов.

Австралийские исследователи М.Фёрмэйдж и Р.Шайн (M.Firmage, R.Shine; Сиднейский университет) провели наблюдения за содержащимися в неволе группами австралийских аспидовых змей *Notechis ater*, взятых из разных популяций, и полученным от них потомством.

*Notechis ater* — достаточно хорошо изученный вид, но о его поведении существовали лишь отрывочные и противоречивые данные. Оказалось, что змеи из всех популяций — материковых и островных — проявляют характерное поведение ритуализованной борьбы, при которой самцы сплетаются задними частями тела, а передними пытаются придавить к земле голову противника. При этом не отмечено случаев укуса противника или нанесения ему какого-либо вреда. В турниры вступают самые крупные самцы и лишь в присутствии самок.

Точно такое же поведение известно и у других видов змей, и оно обычно связывается с конкуренцией за самку. Любопытно, что хотя бьются самые крупные самцы, в спаривании был замечен самый мелкий, в борьбе не участвовавший. Но

гораздо более агрессивными по отношению друг к другу змеи становились во время кормления — в этой ситуации в драках принимали участие не две особи, а целые группы, и наряду с безобидным взаимным обвиванием змеи часто кусались. Эти укусы иногда переходили в попытки каннибализма.

Драки, в результате которых змей иногда приходилось рассаживать, отмечались как между самцами, так и между самками и детенышами. Такая агрессивность может объясняться артефактом скученного содержания змей, но исследователи не исключают возможность подобных агрессивных взаимодействий и в природе: иначе почему это поведение столь легко провоцируется в искусственных условиях? В частности, вызванная конкуренцией за пищу агрессивность может существовать в островных популяциях змей, где при значительной их плотности они рхотятся на скученную добычу (птенцов на птичьих базарах).

Австралийские специалисты полагают, что социальное поведение змей (и не только исследованного вида) проявляется шире, чем принято думать. Это поведение мало известно из-за скрытного образа их жизни и сложности полевых наблюдений за ними.

*Amphibia-Reptilia*. 1996. V.17. № 1. P.55—65 (Нидерланды).

## Биохимия

**Особенности стресса у насекомых**

Взяв насекомое в руки, мы вызываем у него стресс, связанный с ограничением

подвижности (иммобилизационный), поместив множество особей в небольшой объем, наблюдаем стресс социальный, а увеличив температуру окружающей среды выше оптимальной — тепловой. При любом виде стресса в организме насекомого активнее вырабатываются катехоламины — нейрорегомоны и медиаторы, к числу которых принадлежат адреналин, норадреналин, дофамин.

Используя биохимические методы, М.Ж.Суханова и И.Ю.Раушенбах (Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, Новосибирск) изучали особенности теплового стресса у *Drosophila virilis*. Они обнаружили, что при кратковременном (получасовом) стрессе почти вдвое повышается содержание дофамина. Чтобы выяснить механизмы контроля за его уровнем, авторы определяли активность щелочной фосфатазы, фермента, который участвует в одном из этапов его синтеза (предшественником дофамина служит тирозин, его синтез и обеспечивает этот фермент).

Можно было ожидать, что активность щелочной фосфатазы так же, как и количество дофамина, будет выше нормы. Оказалось однако, что активность фермента начинает падать уже через 30 мин после начала стресса, через три часа снижается втроекратно, но затем постепенно возрастает.

Снижение активности авторы объясняют действием принципа обратной связи: количество дофамина — конечного продукта в цепи синтеза — увеличивается и тирозин (промежуточный продукт), а это и ограничивает активность щелочной фос-

фатазы. При длительном стрессе дофамин расходуется, цепочка его синтеза вновь запускается, и активность щелочной фосфатазы начинает расти. Такой медиаторный механизм не исключает того, что биохимические реакции при стрессе могут регулироваться и иным способом.

Доклады Академии наук. 1995. Т.340. № 1. С.128—131 (Россия).

#### Биотехнология

### Липосома с генной начинкой

Применение генной терапии в медицине и сельском хозяйстве тормозится отсутствием достаточно простых и надежных методов введения нужных генов в живой организм. Важный шаг в этом направлении недавно был сделан японскими исследователями во главе с М.Терада (M.Terada; Национальный центр онкологических исследований, Токио). Они установили, что гены, введенные в кровяное русло беременных мышей, могут проходить через плацентарный барьер и функционировать в развивающихся зародышах.

Авторы использовали копии гена, кодирующего один из бактериальных ферментов. Гены «вставляли» в ДНК соответствующих плазмид, которые затем заключали в липосомы — фосфолипидные пузырьки, обладающие способностью достаточно легко проникать через мембраны клеток. Находясь в липосомах, плазмиды предохраняются от воздействия биологических жидкостей, содержащих

ферменты. Нагруженные липосомы вводили в хвостовые вены беременных самок. Обследовав потомство этих мышей, генетики обнаружили, что чужеродный ген присутствовал почти у всех плодов и новорожденных животных. Лишь в случаях, когда гены в липосомах вводили на самых ранних сроках беременности мышей, они не попадали в организм зародышей.

Новым для авторов этой методики оказался факт сравнительно легкого прохождения нагруженных липосом через ткани плаценты. Оказалось также, что чужие гены, по-видимому, не копируются и не передаются потомству: они отсутствовали в яйцеклетках и сперматозоидах молодых животных. Поскольку разработанная авторами техника достаточно проста и удобна, они полагают, что новый метод даст возможность компенсировать генетические дефекты животного или человека на стадии внутриутробного развития путем инъекции нормальных генов.

Nature Genetics. 1995. V.9. P.243—245 (США).

#### Физиология

### Выносливая птичка колибри

Известно, что в отличие от иных птиц крошечные колибри умеют надолго зависать в воздухе, подобно стрекозе, и даже немножко двигаться назад. Для этого маленькая птичка должна обладать сильной мускулатурой.

Изучением незаурядных способностей и строения организма колибри занялись орнитологи Р.Дадли и Пын

Чай (R.Dudley, Peng Chai; Университет штата Техас, Остин, США). Они помещали красногорлых колибри (*Archilochus colibris*) в герметичные клетки с насекомом и подвесной кормушкой, где постепенно заменяли обычный воздух на смесь кислорода с гелием. Эта смесь, которой тоже можно дышать, отличается меньшей, чем воздух, плотностью. Чтобы привычным образом порхать над кормушкой в такой среде, птице приходилось учащать взмахи крыльев. Наконец, когда атмосфера становилась втрое разреженнее, чем над уровнем моря, обессилевшие колибри падали на пол клетки.

Высокоскоростное фотografiрование показало, что птица все время пыталась компенсировать уменьшение плотности воздуха увеличением не только частоты взмахов крыльев, но и размеров дуги, описываемой ими при каждом взмахе. В конце концов эта дуга достигала 180°, так что в верхней и нижней ее точках крылья ударялись друг о друга.

Такой «геометрический предел», по-видимому, не столь уж редко встречается в природе. Его можно наблюдать, например, когда вспугнутый голубь, старающийся сразу придать своему сравнительно тяжелому телу максимальное ускорение при взлете, громко хлопает крыльями.

Биологи измерили у колибри при усиленной их нагрузке потребление кислорода, что служит показателем интенсивности работы мышц. По мере падения плотности атмосферы потребление кислорода возрастало на 15—36% в сравнении с нормой.

Интенсивность обмена веществ у колибри рекорд-

на среди современных позвоночных, и эта птичка владеет отличной способностью к «высшему пилотажу» в нормальных для нее условиях. Но когда в ходе эксперимента разреженность атмосферы приближалась к условиям высокогорья (6 тыс. м над ур. м.), обычная физическая нагрузка становилась ей уже не под силу, хотя кислорода было вполне достаточно для дыхания.

Остается пока неясным, каким образом справляются с повышенными нагрузками некоторые виды колибри в Южной Америке, обитающие на высоте около 7 тыс. м, где кислорода намного меньше, чем отмечалось в проведенных опытах. Разрешение этой загадки будет предметом дальнейших исследований.

Nature. 1995. V.377. № 6551. P.722; New Scientist. 1995. V.148. № 2002. P.19 (Великобритания).

#### Медицина

### Лошадиный вирус сводит с ума

Вирус болезни Борна, вызывающий смертельное заболевание лошадей, был впервые обнаружен немецкими ветеринарами более столетия назад. Он способен поражать и других животных, причем во всех случаях симптомами заболевания является возбужденное и агрессивное поведение.

Недавно группа специалистов во главе с Л.Бодом (L.Bode; Институт им. Р.Коха, Берлин, Германия) обнаружила антитела к этому вирусу в крови людей, страдающих психическими заболеваниями.

Дальнейшие исследования позволили авторам обнаружить у этих больных РНК вируса болезни Борна, которая необходима для его репликации. У здоровых лиц ни РНК вируса, ни антител к нему найдено не было.

Еще больший интерес вызывают работы двух групп американских исследователей — под руководством К.Карбон (K.Carbon; Университет Дж.Гопкинса, Балтимор) и И.Липкина (J.Lipkin; Калифорнийский университет), которые обследовали больных шизофренией. У 30% больных в крови были обнаружены антитела к белкам вируса болезни Борна. Вскоре удалось выделить и сами вирусные белки. Но этого добились уже немецкие исследователи при работе с другой группой психических больных.

Не исключено, что данные, полученные немецкими и американскими авторами, помогут выяснить механизмы возникновения ряда психических заболеваний, в том числе и шизофрении.

Nature Medicine. 1995. V.1. P.232—233 (США).

#### Экология

### Репродуктивные потери в популяциях полевки

Жизнеспособность природных популяций млекопитающих в значительной мере обусловлена воспроизводством, которое, как известно, включает три этапа: оогенез (формирование зрелой яйцеклетки в яичниках из первичных ооцитов), пренатальный период, или эмбриогенез, и постнатальный, длящийся от

рождения до половой зрелости и размножения.

Как сказывается действие токсических веществ, содержащихся в среде обитания, на различные стадии репродуктивного цикла? Чтобы понять это, В.С.Безель и С.В.Мухачева (Институт экологии растений и животных, Уральское отделение РАН, Екатеринбург) изучали популяции рыжей полевки в двух зонах: импактной, расположенной в границах выбросов медеплавильного комбината Южного Урала, содержащих медь, цинк, свинец, кадмий, и фоновой — в 20 км от источника загрязнения. На импактной площади в содержимом желудка полевки меди было в 9, кадмия — в 5,4, цинка — в 2,2, свинца — в 1,9 раз больше, чем на фоновой.

Авторы исследовали состояние генеративной системы самок, подсчитывали количество желтых тел беременности в яичниках и жизнеспособных эмбрионов в матке, определяли число самок в стадии эструса, а также беременных и лактирующих, изучали возрастное распределение молодняка. Выяснилось, что репродуктивные потери максимальны в оогенезе (98%), но они близки в обеих зонах; в эмбриогенезе они не столь значительны (меньше 20%) и тоже относительно слабо зависят от степени загрязненности среды обитания.

Но доля выживших седелеток сильно различалась: на фоновой территории она составила 0,44, на загрязненной — 0,14. Количество молодых самок, участвующих в размножении в импактной зоне было также меньше, чем в фоновой. Таким образом, именно последний — постнатальный — период особенно сильно подвержен воздействию среды обита-

ния. В это время погибает больше 85% молодняка в загрязненной зоне против 55% в фоновой.

Доклады Академии наук. 1995. Т.345. № 1. С.135—137 (Россия).

#### Охрана природы

### Спасти леса — сохранить вьетнамских фазанов

Получив от Национальной федерации охраны живой природы США 100 тыс. долл., Комиссия по выживанию видов Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП) провела в опустошенных войной регионах Вьетнама, Лаоса и Камбоджи обследование мест обитания редких животных, чтобы помочь правительствам этих государств организовать охраняемые территории.

Одно из таких мест во Вьетнаме связано с обитанием трех малоизученных видов фазанов. Поскольку оказалось, что ни на одном из 88 уже существующих охраняемых участков ни один из редких видов этих птиц не обитает, исследователи сочли необходимым создать специальную лесную резервацию в бассейне р. Нет для оставшихся популяций фазанов.

Так как основную угрозу для птиц представляет уничтожение лесов, специалисты МСОП настаивают, чтобы вьетнамское Министерство лесного хозяйства немедленно объявило мораторий на заготовку древесины в бассейне этой реки. Они рекомендуют сохранить максимально возможную площадь леса со сплошным пологом, так как установле-

но, что один из видов вьетнамских фазанов обитает именно в таком лесу. Специалисты МСОП предлагают внести в список животных, находящихся под угрозой исчезновения, вьетнамского фазана и фазана Эдвардса. Третий вид — королевский фазан — встречается здесь настолько редко, что орнитологам удалось увидеть всего трех его представителей, и для выявления мест его обитания необходимо провести дополнительные обследования.

International Wildlife. 1995. V.25. № 3. P.28 (США).

#### Геология

### Микроорганизмы в золотом футляре

Роль биологических факторов в растворении, переносе и накоплении золота дискутируется уже более 60 лет. Это связано с тем, что большая часть разведанных запасов золота сосредоточена в породах, богатых органическим углеродом. Ряд специалистов считают, что накопление золота происходит лишь на сульфидах (пирите и арсенипирите), которые образуются в местах деструкции биомассы. Другая точка зрения состоит в том, что золото из водной фазы может осаждаться на микроорганизмы. Более того, по мнению некоторых исследователей, живые микроорганизмы вызывают коагуляцию золотосодержащих коллоидов с выпадением металлического золота в осадок. Экспериментальные исследования до последнего времени подтверждались лишь одной природной находкой: на месторождении в Витватерсранде (ЮАР) были

обнаружены микрофоссилии, представляющие собой продукт золотой литификации остатков бактерий и низших водорослей.

Материалы, собранные и обработанные в течение последних пяти лет московскими исследователями Р.А.Амосовым, Е.Б.Колесниковой (Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов) и С.Л.Васиным (Научно-исследовательский институт трансплантологии и имплантации органов), позволили установить, что золотые микрофоссилии широко распространены в рыхлых отложениях и горных породах разного возраста — от раннего докембрия до четвертичного периода. Кажущаяся редкость таких находок в значительной мере объясняется несовершенством применявшихся методов исследования.

Разнообразие форм золотых микрофоссилий говорит о том, что золотофилия не является специфическим свойством лишь определенных таксонов организмов. Вместе с тем наиболее распространены микрофоссилии, в которых роль биогенного субстрата играют цианобактерии. Хорошая морфологическая сохранность микроорганизмов указывает на то, что золотая литификация происходила при жизни или сразу же после гибели организма. В таких образцах нарастания самородного золота на другие минералы не происходило, что, вероятно, обусловлено вызванным микроорганизмами сдвигом физико-химического равновесия. Авторы считают возможным расценивать зарождение самородного золота на микроорганизмах как биокаталитический процесс. В то же время в некоторых слу-



*Колония нитчатых цианобактерий, литифицированных золотом. Остаточное золото из россыпи в Ниманском р-не Хабаровского края.*

чаях золото осаждалось не на самих клетках, а на их слизистых оболочках и чехлах, так что происходила своеобразная цементация колоний самородным золотом, а нитчатые микроорганизмы, собранные в жгуты, покрывались общим золотым футляром.

Механизмы каталитического влияния клеток на зарождение золота пока не ясны. Селективное биокаталитическое осаждение его из морской воды невозможно объяснить просто присутствием в ней взвешенных металлических частиц. Более правдоподобно предположение, что концентрация золота повышается в процессе поступления в бассейн мантийных или мантийно-коровых флюидов, в которых оно содержится в виде комплексных ионов. Вероятно, один из механизмов первоначального накопления золота в стратиформ-



*Псевдоморфоза самородного золота по панцирю диатомовой водоросли. Камчатка, Алапель.*

ных месторождениях — прямое осаждение его на бактерии и водоросли. Затем возможны как регенерация и перераспределение, так и сохранение биогенного золота в виде микрофоссилий. В месторождениях такого типа золото преимущественно мелкое и тонкодисперсное, соответствующее по размеру микробиологическим объектам, однако размеры рудных тел и их скоплений могут быть весьма значительными, как, например, в месторождениях на юге Якутии.

Изучение микрофоссилий стратиформных месторождений золота поможет прояснить палеофациальные условия и геологические обстановки их формирования, а также облегчит прогноз и поиск новых месторождений.

Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. 1995. Вып.2. С.147—153 (Россия).

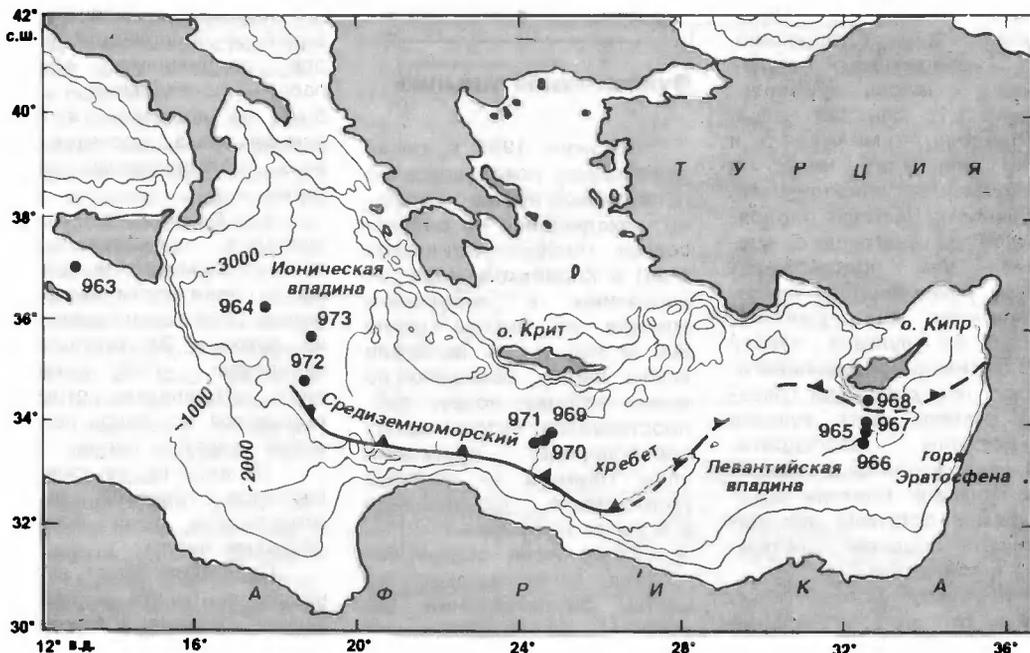
## Геология

### 160-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Исследования, проводившиеся в Средиземном море в течение нескольких десятилетий, сделали его одним из наиболее изученных в геологическом отношении регионов Земли. Несмотря на это, многие проблемы, связанные с его геологической эволюцией, все еще далеки от окончательного решения. Не ясны, прежде всего, некоторые аспекты геодинамики Средиземноморского бассейна, в первую очередь его восточной части, где коллизия Африканской и Евразийской литосферных плит наиболее ярко отражена в современных структурах дна Средиземного моря и на обрамляющей его суше.

Проведенное в прежних рейсах «Гломар Челленджера» и «ДЖОЙДЕС Резолюшн» глубоководное бурение показало, что этот внутриконтинентальный бассейн отличается сложной и во многом необычной историей развития, которая тесно связана с геологической и гидрологической эволюцией всего Мирового океана. Поэтому изучение тектонических и гидрологических процессов в Средиземном море важно с точки зрения не только истории собственно этого бассейна, но и глобальной океанологической эволюции.

В соответствии с программой океанского бурения 160-й рейс (первый из двух запланированных на 1995 г. в Средиземном море) был направлен на решение именно этих проблем тектонической и океанологической эволюции средиземноморского бассейна. Рейс проводился в его восточной части с 7 марта по 3 мая 1995 г. под научным руководством К.-



**Район восточной части Средиземного моря, где проводилась работы в 160-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюши».**  
 Кружки с номерами — скважины глубоководного бурения; цифры на изолиниях — глубина моря, м; жирной линией с треугольниками показано положение зоны субдукции.

Х.Эмэйса из Института по изучению Балтийского моря (Варнемюнде, Германия) и А.Робертсона из Геологического института Гранта Университета Эдинбурга (Великобритания); Программу океанского бурения представлял К.Рихтер<sup>1</sup>.

В общей сложности в рейсе пробурено 48 скважин в 11 точках. Места для бурения были выбраны в трех районах: на крайнем востоке Средиземного моря, в центральной части Сре-

земноморского хребта и в Ионической впадине; в каждом из них решались свои специфические задачи.

Первый район исследования расположен в Левантийской впадине, вблизи подводной горы Эратосфена. Предполагается, что эта гора представляет собой погружившийся континентальный блок. Здесь предстояло изучить коллизионные процессы, происходившие на дивергентной границе Африканской и Евразийской литосферных плит. Скважины, пробуренные в четырех точках (965—968) вдоль меридионального профиля через гору Эратосфена и южный склон о. Кипр, вскрыли разрезы осадков, в которых запечатлена тектоническая история этой структуры. Согласно предварительному анализу, в поздне меловое время она представляла собой карбонатную платформу, в пределах которой накапливались мелководные карбонатные органогенные осадки. В

конце мела платформа погрузилась, и мелководное осадконакопление сменилось глубоководным, продолжавшимся, вероятно, в течение палеогена и большей части неогена. В конце неогена в ответ на тектоническое сжатие и субдукцию эта структура испытала подъем, сопровождавшийся эрозией более древних отложений. В четвертичное время вновь произошло ее быстрое погружение. Судя по материалам разреза, разные части этой структуры испытывали подъем и последующее погружение в разное время, что свидетельствует, вероятно, о ее блоковом строении.

Главной целью бурения в центральной части Средиземноморского хребта, который интерпретируется как аккреционная призма, было изучение грязевого вулканизма. Работы велись на вулканах Милан и Неаполь (скв. 970 и 971 соответственно), в пределах поля грязевых вулканов Олимпи,

<sup>1</sup> Emeis K.-Ch., Robertson A., Richter C. et al. // Preliminary Report. Leg 160. ODP. 1995.

которое ранее было открыто южнее о.Крит. Установлено, что извержение вулкана Милан началось приблизительно 1.75 млн. лет назад, а Неаполь — между 1.5 и 1.25 млн. лет назад и происходило эпизодически. Активность Неаполя продолжается до настоящего времени, что подтверждает выход углеводородов на современном дне. Деятельность же вулкана Милан прекратилась; в гемипелагических осадках среди грязевых потоков этого вулкана обнаружены газогидраты. По содержащимся в обломках грязевой брекчии органическим остаткам они датируются эоценом, олигоценом и миоценом.

К числу важных задач рейса относилось изучение многочисленных сапропелевых горизонтов, которые широко распространены в плиоцен-четвертичных разрезах всего Средиземноморского бассейна. Бурение с этой целью проводилось главным образом в Ионической впадине (скв. 963, 964, 972, 973), хотя сапропелевые горизонты были вскрыты также на Средиземноморском хребте (скв. 969) и в Левантской впадине (скв. 966, 967). Установлено более 80 отдельных сапропелевых прослоев, которые группируются в горизонты, приуроченные к определенным временным интервалам.

Детальное лабораторное исследование полученных материалов поможет проверить справедливость различных гипотез, предложенных для объяснения природы и истории формирования этих осадков, богатых органическим веществом.

© **И.А.Басов**,  
доктор геолого-минералогических наук  
Москва

## Вулканология

### Вулкан-«кипятильник»

18 июля 1995 г. после длительного покоя внезапно пробудился вулкан Суфриер, находящийся на о.Монтсеррат (Малые Антильские о-ва) в Карибском море: из расселины в вершинном кратере на высоте около 900 м над ур. м. вылетели клубы пепла, осевшего по всему острову; вокруг распространился острый запах сероводорода, достигший улиц Плимута — столицы Монтсеррата, находящейся в 5 км от Суфриера.

С 28 июля остров сотрясала серия мелких, но частых землетрясений (за сутки — до полусотни). У вершины открылась новая расселина диаметром около 2 м, из которой под глухой подземный рокот повалил пепел, а за ним — белый пар. После пошедшего дождя по склону сползла небольшая пепельно-грязевая лавина.

Местные власти эвакуировали жителей близлежащих поселков и ферм. На место событий прибыли сейсмологи и вулканологи из Вестиндского университета (Тринидад), Геологической службы США, Гваделупской вулканологической обсерватории и установили на склонах горы и вокруг нее сеть сейсмометров, наклономеров, измерителей химического состава атмосферы и другие приборы.

4 августа над кратером вздыбился темный столб пепла, который был виден почти из любой точки острова. С борта самолета было установлено, что это вызвано резким расширением расселины, достигшей примерно 10 м в диаметре при глубине свыше 10 м. На следующий день рассе-

лина заполнилась до краев водой, с поверхности которой поднимались облака пара: по-видимому, это была не дождевая, а подземная влага, поднятая наверх сейсмическими событиями.

К 7 августа озеро, очевидно, полностью выкипело. Сейсмические приборы за одни сутки записали более 134 землетрясений, из которых 38 ощущались человеком. Пар теперь лишь отдельными струями вырывался из недр, неся с собой «заряды» пепла.

12 августа со склонов сорвался грязевой поток; окрестности были окутаны облаками пара.

Свершив облет вулкана на вертолете и сделав замеры, ученые установили, что 6 августа Суфриер выбрасывал в атмосферу до 1200 т SO<sub>2</sub> в сутки; затем объем сократился до 200 т. Весь август и до середины сентября Суфриер продолжал неистовствовать.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1995. V.20. № 7. P. 2 (США).

Геофизика. Океанология

### Подводные лавовые озера в Атлантике

В конце 70-х годов впервые появились сообщения о том, что на морском дне Тихого океана существуют лавовые озера. Такие странные образования были обнаружены тогда в пределах подводного Галапагосского хребта и Восточно-Тихоокеанского поднятия. Оба района отличаются высокой скоростью спрединга и выбросом высокотемпературной текучей лавы. Была установлена корреляция

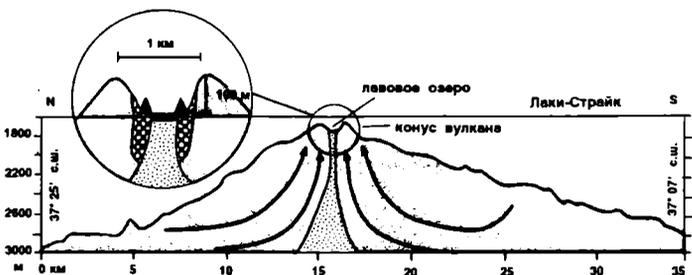
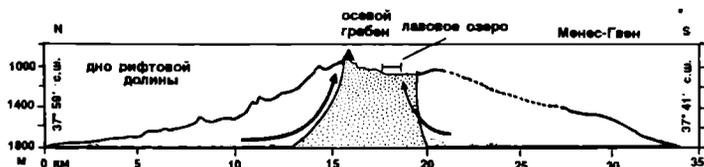
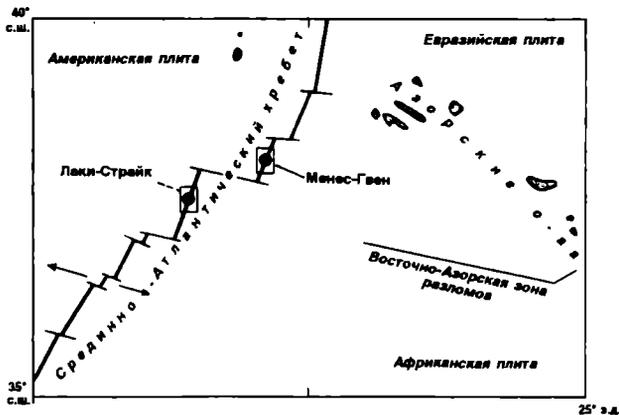
между интенсивностью спрединга, скоростью излияния лавы и возникновением подобных озер.

В Атлантике с ее относительно малой скоростью спрединга лавовые озера до сего времени известны не были, хотя американская исследовательница Т.Атуотер (T. Atwater) еще в 1979 г. указывала, что в районе Срединно-Атлантического хребта, в точке с координатами 36° 27' с.ш., расположены слоистые лавовые потоки, подобные встречным около лавовых озер Тихого океана.

Мыне такие озера обнаружены и в Атлантике в результате работ, предпринятых французскими учеными И.Фуке и А.Ондрвасом (I. Fouquet, H. Ondreas; Институт морских исследований в Плузане), португальскими геофизиками И.Кошта и Н.Лоуренсо (I. Costa, N. Lourenco; Лиссабонский университет) и американцем М.К.Тайви (M.K. Tivey; Вудсхолский институт океанографии, штат Массачусетс).

Эта международная экспедиция на борту французского исследовательского судна «Дива-1» спускала подводную лодку «Наутилус» в районе Срединно-Атлантического хребта, к западу от Азорских о-вов, где ранее было установлено существование «горячей точки» — повышенного теплового потока из земных недр. При этом установлено, что в местностях под названием Лаки-Страйк (37° 17.5' с.ш.) и Менес-Гвен (37° 50' с.ш.) на небольших поднятиях дна залегают лавовые озера.

Округлое, с диаметром 300 м, оз. Лаки-Страйк занимает кальдеру вулкана поперечником около 1 км. Вокруг — слои неоднократных извержений очень молодой остывшей лавы, которая в ряде точек образует



-  Активное жерло
-  Лавовое озеро
-  Горячая область (свежая лава)
-  Сульфидные отложения
-  Гидротермальная конвективная ячейка

*Локализация двух гидротермальных горячих областей на Срединно-Атлантическом хребте, в зоне сочленения Американской, Евразийской и Африканской литосферных плит, и разрезы этих областей.*

перекрывающие друг друга «крыши» и столбы.

Оз. Менес-Гвен имеет вытянутую форму (0.4 на 1.4 км) и простирается вдоль осевого грабена, где встречается свежая подушечная лава. У северной оконечности грабена нахо-

дится небольшой вулкан, возвышающийся над дном на 200 м; его склоны также покрыты молодой подушечной лавой.

По геотермическим данным Лаки-Страйк — крупнейший (площадь свыше 1 км<sup>2</sup>) среди всех

известных в пределах Срединно-Атлантического хребта интенсивный источник тепловой энергии. Он имеет кольцеобразные очертания, окружая в кальдере лавовое озеро.

Гидротермальное поле Мөнес-Гвен находится в самом грабене, вблизи вершины нового, современного вулкана, в 1 км к северу от лавового озера. Очевидно, здесь, прямо под океаническим дном, залегает на малой глубине магматическая камера.

В сравнении с ранее открытыми подводными лавовыми озерами, расположенными в тихоокеанских зонах быстрого спрединга, их атлантические аналоги — меньших размеров, что говорит о более локализованных магматических камерах, их породивших. Другие «горячие точки» Срединно-Атлантического хребта, расположенные на 23° и 26° с.ш., не имеют лавовых озер.

В современных геофизических, геодинамических, вулканологических и сейсмологических построениях проблема подводных лавовых озер играет значительную роль и требует дальнейшего углубленного изучения.

Nature. 1995. V.377. № 6546. P.201 (Великобритания).

Океанология. Климатология

## Распреснение океана изменит климат Европы

Как известно, своим сравнительно мягким климатом Западная Европа обязана природной системе, называемой «Атлантическим конвейером».

В высоких широтах Атлантики, на стыке с Ледовитым океаном, температура воды понижается. Холодная и плотная, она быстро идет на погружение и на определенной глубине направляется к югу. На ее место устремляются разогретые в тропиках водные массы Гольфстрима; перемещаясь на север, они отдают тепло окружающей среде прежде, чем охладиться настолько, чтобы погрузиться на значительную глубину. Работа подобного «конвейера» — выглядит бесконечной.

Очевидно, однако, что вклад в этот процесс вносят пресные воды, постоянно пополняющие Мировой океан. Изучив данный эффект, немецкий океанограф Ш.Рамсторф (S.Rahmstorf; Кильский университет) пришел к выводу: попадающие в Атлантику осадки в виде дождя и снега могут вызывать заметные возмущения «конвейера». Правда, в настоящее время пресная влага поступает в океан в недостаточных для этого количествах. Но, согласно оценкам, даже сравнительно небольшое увеличение массы осадков — на 25% от ежегодно поступающей в настоящее время (иначе говоря, на 60 тыс. м<sup>3</sup>/с) — в состоянии кардинально нарушить тепловой баланс. При нынешнем глобальном потеплении атмосфера накапливает все большее количество влаги, что способствует усилению потока выпадающих осадков.

Рамсторф соединил построенную им модель физического состояния Северной Атлантики с одной из несложных моделей атмосферы. Расчеты показали, в частности, что не играет роли, на каких широтах — высоких или низких — будет поступать в океан добавочная влага. Достаточно лишь,

чтобы она распреснила морскую воду до такой степени, при которой ее охлаждение в северной акватории уже не приведет к погружению. Как только это произойдет, до общей остановки «конвейера» хватит всего нескольких столетий — времени, которое уходит на полный оборот водной массы по нему.

Следствием этого торжества станет похолодание в Западной Европе на несколько градусов. Правда, оно будет компенсироваться общим глобальным потеплением, но для огромного и столь важного региона, как Европа, эти последствия могут оказаться чрезвычайно тяжкими.

Насколько мы близки к моменту гипотетической остановки «конвейера», пока не ясно. С.Манабе и Р.Стоуффер (S.Manabe, R.Stouffer; Геофизическая лаборатория динамики жидкости в Принстоне, штат Нью-Джерси, США) показали: увеличения содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере в четыре раза уже достаточно, чтобы нарушить действие «Атлантического конвейера». Согласно их же подсчетам, удвоение концентрации CO<sub>2</sub> в воздушном пространстве (чего можно ожидать примерно к 2026 г.) хотя и сохранит «конвейер», но значительно его ослабит. Насколько все это реально, многие специалисты пока судить не решаются.

Помимо прочего, прогноз Рамсторфа предсказывает возможное локальное потепление Лабрадорского моря, омывающего о.Ньюфаундленд (Канада), приблизительно на 2°С в течение всего нескольких лет, если поток пресной воды увеличится на 30 тыс. м<sup>3</sup>/с.

Nature. 1995. V.378. № 6553. P.145 (Великобритания).

## Метеорология

**Прогноз ураганов совершенствуется**

В США завершилось двухлетнее опробование новой модели прогноза ураганов, выработанной сотрудниками Геофизической лаборатории по изучению динамики жидкостей (штат Нью-Джерси). Используя быстродействующий компьютер «Cray C90», Метеослужба США может за 20 мин выдать прогноз пути перемещения урагана и его интенсивности с заблаговременностью 72 ч. Точность этого прогноза на 28% превышает прежние, что обусловлено в известной степени более верным пониманием физики самого явления, в частности процессов испарения влаги с поверхности водоемов и переноса солнечной радиации.

Помимо этого, новая модель отличается большей детальностью: она показывает скорость ветра, наличие осадков и другие метеорологические параметры на каждом из 16-километровых отрезков предстоящего пути урагана, а прежняя давала аналогичную информацию только через каждые 111 км его перемещения. Повышенное пространственно-временное разрешение модели позволяет учитывать и мелкомасштабные черты явления, такие как «стена», обычно окружающая «глаз бури».

В августе 1993 г. к Атлантическому побережью США приблизился ураган «Эмили». Все старые модели показывали, что он выйдет на сушу в районе штата Джорджия; новая прогнозировала, что он пройдет много севернее, около Внешних Банок штата Северная Каролина, а затем круто повернет обратно в

океан. Последний прогноз оказался правильным.

Новая методика, очевидно, начнет заменять старую по мере появления технических и финансовых возможностей у Метеослужбы США.

New Scientist. 1995. V.147. № 1984. P.10 (Великобритания).

## Климатология. Экология

**Глобальные климатические изменения — в лаборатории**

Обсерватория по изучению Земли им. Ламонта и Доэрти при Колумбийском университете (Палисейдс, штат Нью-Йорк, США) приобрела у Техасского миллиардера Э.Басса за 50 млн. долл. право на исследование в своих научных целях принадлежавшего ему уникального сооружения «Биосфера-2»<sup>1</sup>.

Это герметически закупориваемое здание из стали и стекла с 1991 г. использовалось для изучения жизнеобменных функций с окружающей средой четырех мужчин и четырех женщин, отправившихся туда в добровольную изоляцию на 2 года. Однако эти эксперименты были признаны неудачными, так как содержание CO<sub>2</sub> во внутренней атмосфере быстро превысило допустимый уровень, и воздух пришлось закачивать извне. Кроме того, урожаи с экспериментальных участков оказались столь низкими, что «био-

сферцы» начали страдать от недоодевания<sup>2</sup>. Опыты пришлось прервать досрочно.

Ныне пребывание людей в «Биосфере-2» вообще не предусматривается. Научные сотрудники Колумбийского университета намерены использовать ее в целях климатологических и метеорологических исследований, натурно моделируя будущее нашей планеты при различных сценариях изменения атмосферных условий.

Все это станет важным составным элементом международной программы «Глобальные изменения», к которой уже привлечены специалисты из всех ведущих стран мира. К участию в экспериментах с помощью «Биосферы-2» приглашаются ученые из любых исследовательских учреждений.

Первые наблюдения уже показали, в частности, что при резком возрастании концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере прирост растительной массы, первоначально значительно увеличивающийся, затем быстро падает и вскоре приходит примерно к уровню, какой обычно свойствен открытому пространству.

New Scientist. 1995. V. 148. № 2004. P.5 (Великобритания).

## Климатология

**Естественные причины потепления отвергаются**

Созданная ООН Межправительственная комиссия по климатическим изменениям завершила в декабре 1995 г. свою 5-летнюю работу. Констатируется, что средняя температура Земли за наше столетие повыси-

<sup>1</sup> Подробнее см.: Нельсон М. и др. «Биосфера-2» // Природа. 1993. № 10. С.66—79.

<sup>2</sup> Биосферцы испытывают трудности // Природа. 1993. № 7. С.117.

лась на  $0.5^{\circ}\text{C}$  — это самое значительное потепление со времени окончания последней Ледниковой эпохи, однако его интенсивность очень разнится в зависимости от местности.

Впервые с уверенностью опровергаются предположения, будто наблюдаемое потепление — часть естественных климатических колебаний; его причиной, наконец, официально названа деятельность человека. Главным фактором здесь служит накопление в атмосфере  $\text{CO}_2$  и других парниковых газов, а их основным источником — сжигаемые ископаемые топлива.

Разнородность складывающейся картины потепления обусловлена иным, хотя тоже антропогенным фактором; во многих регионах мира, включая большую часть Европы и Северную Америку, потепление компенсируется и даже перекрывается локальным похолоданием, вызванным другой формой загрязнения атмосферы — аэрозолями, сульфатами, частицами сажи, которые образуют дымку, сокращающую поступление солнечной тепловой энергии. В масштабе Земли аэрозоли ответственны за охлаждение, измеряемое потоком энергии  $0.5 \text{ Вт/м}^2$ . Так как пребывание аэрозолей в атмосфере ограничено несколькими сутками, их охлаждающее влияние сконцентрировано главным образом в районе крупных промышленных городов — именно там общее потепление не сказывается. С учетом как воздействия парниковых газов, так и противодействия аэрозолей эксперты ныне считают, что стало возможным строить глобальные модели климата, показывающие дальнейший ход изменения температур.

Участники работы

Б.Сантер (B.Santer; Национальная лаборатория им. Лоуренса, Ливермор, штат Калифорния) и Т.Уигли (T.Wigley; Национальный центр атмосферных исследований США, Боулдер, штат Колорадо) подчеркивают, что характер температурных изменений, взятых по отдельным регионам, позволяет с высокой степенью статистической надежности отличать естественные колебания климата от антропогенных.

Некоторые поставщики и потребители ископаемых топлив, в особенности представители Саудовской Аравии и Кувейта, а также химической корпорации «Dow Chemicals», выступили на презентации этих результатов с попытками устарить из итоговых документов не устраивающие их выводы. Некоторые формулировки окончательного документа были несколько смягчены. Однако сохранилось утверждение, что средние температуры на Земле поднимутся на  $1.0\text{—}3.5^{\circ}\text{C}$  — что было бы катастрофой, — если к концу XXI в. состоится прогнозируемое удвоение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Впрочем, в 1990 г. специалисты оценивали предполагаемое в подобном случае потепление как близкое к  $1.5\text{—}4^{\circ}\text{C}$ . Перемена в прогнозе связана с тем, что теперь впервые учтена растущая концентрация в атмосфере сульфатных аэрозолей.

Слабым местом в прогнозе, по мнению Дж.Хафтона (J.Houghton), бывшего директора Британской метеорологической службы, является все еще значительный разброс между максимумом и минимумом потепления: специалистам все еще неясно, увеличится или нет облачный покров планеты в ходе потепления и каким

именно образом подобное изменение скажется на глобальном климате.

Современное развитие климатических процессов не имеет прецедентов на памяти человечества; соответственно нет и полезного опыта. Среди наиболее вероятных неожиданных и весьма быстрых перемен называют резкое нарушение глубинной циркуляции Мирового океана. Она связана с образованием плавучих льдов в Северной Атлантике и, среди прочего, влияет на Гольфстрим, который обеспечивает в Западной Европе температуры, на несколько градусов более высокие, чем были бы в иных условиях. Среди новейших математических моделей есть такие, что при изменении океанической циркуляции прогнозируют в некоторых частях Европы заметное похолодание, а на остальной части планеты — потепление. Правильность такого предсказания пока оценить сложно. Установлено, что циркуляция вод океана в разные периоды прошлого была весьма различной, причем переход от одной системы к другой происходил внезапно; всего за какие-нибудь несколько десятилетий это приводило к перепаду средних температур в Северной Атлантике на  $5^{\circ}\text{C}$ .

New Scientist. 1995. V.148. № 2007. P.6 (Великобритания).

Климатология

## Климат XX века

Интересный статистический анализ данных по климату (температура и осадки) в XX в. выполнили Т.Р.Карл и Р.У.Найт (T.R.Karl, R.W.Knight; Национальное управление США по

изучению океана и атмосферы, Ашвилл, штат Северная Каролина) совместно с Н.Пламмером (N.Plummer; Австралийская метеослужба, Мельбурн).

Исследовался массив данных, собранных 187 метеостанциями США, 223 — бывшего СССР, 197 — Китая и 40 — Австралии. Временные отрезки, включенные в анализ, были различны (США: 1911—1992 гг.; СССР: 1935—1989; КНР: 1952—1989; Австралия: 1961—1993). Материалы по России за последние три года — это итоги наблюдений лишь 50% метеостанций страны. Для оценки изменчивости температур в масштабе десятилетий принимались во внимание суточные максимальные, минимальные и средние величины. Для определения внутрисезонных колебаний брались суточные, 2-, 5-, 10-суточные и месячные интервалы времени, а также внутригодовые вариации.

Выполненное ранее<sup>3</sup> другими авторами математическое моделирование (учитывающее и рост атмосферной концентрации парниковых газов) указывало, что потепление климата может приводить к уменьшению краткосрочных температурных колебаний (аналогично — уменьшению метеорологических различий между полярными и тропическими регионами или между зимними и летними сезонами); параллельно этому возрастает количество осадков, которые выпадают в период экстремальных погодных явлений.

Новый анализ показал следующее. Междусуточные колебания атмосферной температуры в Северном полушарии за последние десятилетия уменьшились; удельный же вес осадков, выпадающих в период экс-

тремальных метеоявлений, существенно возрос на фоне общей массы (по крайней мере на территории США). Распространенное среди специалистов мнение, что ныне наблюдается рост переменной температур во внутригодовом масштабе, подкреплено данными за последние десятилетия, однако при теперешнем анализе, охватывающем более длинный ряд наблюдений, эта тенденция никак не подтверждается.

Nature. 1995. V.377. № 6546. P.217 (Великобритания).

#### История науки. География

### Состояние памятных мест Антарктиды

Широко утвердилось мнение, что в условиях сухого холодного климата Антарктиды строения зимовок первых ее исследователей не подвластны времени и силам природы. Однако группа специалистов по сохранению памятных мест ледяного континента — зимовок Скотта (1902—1903), Шеклтона (1908—1909) и Маусона (1911—1913) — при осмотре обнаружила: разрушение построек, занесение в древесину значительного количества пылевых частиц, особенно на зимовках Маусона и Борхгревинка (1899—1900), наросты из грибов и водорослей, воздействие талых вод, повреждение серебряного покрова обратной стороны зеркал (зимовка Скотта на мысе Эванс) и др. Часть из них может быть устранена современными методами консервации и реставрации исторических памятников.

В 1994 г. на общем собрании Группы профессиональных реставраторов Ав-

стралии и Новой Зеландии и Австралийского института сохранения памятников культуры обсуждалось состояние памятных объектов, и в результате была образована Группа специального интереса к историческому наследию Антарктики (Antarctic Heritage Special Interest Group).

Были отмечены также повреждения различной степени на уже закрытых научных станциях Австралии (на о-вах Хёрд и Маккуори) и Новой Зеландии (на о-вах Кэмпбелл и Окленд). Здесь в условиях влажного климата, сильных ветров, эрозии берегов и высокой численности морских млекопитающих и птиц существует дополнительный риск разрушения сохранившегося научного оборудования, а также предметов, которыми пользовались зверобой (котлы различных конструкций для варки мяса и топки жира, хижины промысловиков). Значительны повреждения и на закрытой научной станции Уилкс (первоначально принадлежавшей США, а затем переданной Австралии); большое количество бочек с топливом и химикалиями стали давать утечки, нанося ущерб окружающей среде.

Много памятных мест расположено в австралийском секторе Антарктики, на ледяном побережье моря Росса. Разрушения и здесь оказались аналогичными. Поэтому специалисты Австралии и Новой Зеландии надеются объединить свои усилия со специалистами других стран, с тем чтобы максимально эффективно использовать материальные и финансовые ресурсы для сохранения памятных мест Антарктиды.

Polar Record. 1995. V.31. № 176. P.88 (Великобритания).

## От популяционной генетики к общей теории эволюции

С. М. Гершензон,

академик Национальной академии наук Украины  
Киев

**К**НИГА, о которой пойдет речь, хотя и посвящена генетике популяций, преследует конечную цель ознакомить читателя с современным состоянием синтетической теории эволюции, значительно обновленной и модифицированной научными достижениями нескольких недавних десятилетий. Последняя особенность ставит ее значительно выше всех имеющихся на русском языке монографий (отечественных и переводных) по генетике популяций, поскольку в них, как правило, почти нет увязки популяционной генетики с эволюционной теорией и тем более с новейшими усовершенствованиями синтетической теории эволюции.

Основная часть книги, написанная Л.З.Кайдановым и занимающая 250 страниц, полностью посвящена главнейшим идеям популяционной генетики. Кроме того, книга содержит приложение, составленное Н.Н.Хромовым-Борисовым и названное «Биометрические аспекты популяционной генетики» (79 страниц).

В первой главе Л.З.Кайданов кратко напоминает читателям основные исторические этапы, которые прошла эволюция разнообразных форм жизни, зародившейся на Земле 3.7 млрд. лет назад. Затем перечисляет главные вехи развития эволюционной идеи — от Аристотеля (через Бюффона, Линнея, Ламарка и Дарвина) до начала XX в., когда после вторичного от-



Л.З.Кайданов. ГЕНЕТИКА ПОПУЛЯЦИЙ. М.: Высшая школа, 1996. 320 с.

крытия законов Менделя возникла острая полямика между ортодоксальными дарвинистами и первыми генетиками, полагавшими, что ведущее значение в видообразовании имеет не естественный отбор, как утверждал Дарвин, а генетические факторы.

Во второй половине 20-х годов противопоставление генетики дарвинизму прекращается, чему способствуют достижения генетики популяций.

Л.З.Кайданов совершенно справедливо отмечает, что начало популяционной генетики и ее первые успехи обязаны трудам отечественных ученых, это признается мировой наукой. Особенно большую роль сыграли исследования генетического строения природных популяций, организованные и руководимые московским генетиком С.С.Четвериковым. Эта работа, выполненная в 1925—1926 гг. учени-

ками Четверикова на пяти видах дрозофилы, дала очень ценные результаты и послужила ему материалом для статьи «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики», опубликованной в 1926 г. Эта статья ярко показала насыщенность природных популяций скрытыми рецессивными генными мутациями. Впоследствии она была признана классической и переведена на многие языки. Доклад Четверикова, прочитанный в 1927 г. на V Международном генетическом конгрессе в Берлине, произвел очень сильное впечатление.

В начале 30-х годов двое англичан — Р.Фишер и Дж.Холдейн — и американец С.Райт разработали и математически обосновали теорию генных частот и их динамику в природных популяциях под действием отбора, мутаций и случайных скрещиваний.

Формирование популяционной генетики, начавшееся в нашей стране в середине 20-х, продолжалось отечественными учеными и в 30-е годы. Вслед за Четвериковым и его группой важный вклад внес другой московский генетик — А.С.Серебровский, изучавший вместе со своими сотрудниками генетическое строение пород кур и крупного рогатого скота. Серебровский ввел в генетику термин «генофонд», означающий всю полноту генетических возможностей естественных и искусственных популяций животных.

Ю.А.Филипченко, основавший первую в России ка-

Федру генетики в Петроградском университете, изучал со своими сотрудниками наследование количественных признаков в популяциях животных, издал первые в России оригинальные книги по генетике, изменчивости и эволюционной теории, предложил термины «микрорезволюция» и «макрорезволюция» для обозначения эволюционных процессов на внутривидовом и надвидовом уровнях.

Выдающееся значение для популяционной генетики, эволюционной теории, селекции имели работы Н.И. Вавилова и его последователей.

Популяционно-генетические идеи отечественных школ были в эти же годы внедрены в европейскую генетику учеником Четверикова Н.В. Тимофеевым-Ресовским, работавшим тогда в Германии, а в американскую генетику — учеником Филипченко Ф.Г. Добржанским, эмигрировавшим в Соединенные Штаты.

Заканчивая первую главу, Л.З. Кайданов так характеризует последующие этапы развития популяционной генетики. Второй этап — от 40-х до середины 60-х годов: изучались генетическая гетерогенность и полиморфизм популяций, а также выявляемый в них гетерозис. Третий этап — со второй половины 60-х годов до конца 70-х: в популяционную генетику были внедрены молекулярно-биологические методы изучения, в первую очередь гель-электрофорез белков; при этом популяционно-генетическими исследованиями были охвачены сотни видов растений и животных. Четвертый этап начался с конца 70-х годов и продолжается до настоящего времени. Генетическую гетерогенность популяций стали изучать на уровне ДНК. Были открыты мобильные генетические элементы и показана их очень важная роль в наследственной изменчивости. Изучение мобильных генетических эле-

ментов позволило по-новому взглянуть на ряд положений эволюционной теории.

Завершается первая глава рецензируемой книги сжатым обсуждением значения популяционной генетики для теории и практики. В первую очередь, как отмечает автор книги, популяционная генетика дает понимание процессов микрорезволюции, что необходимо для познания пусковых механизмов эволюции в целом. Во-вторых, без знания популяционной генетики невозможны рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. Эколого-генетические характеристики популяций необходимы для борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства и возбудителями болезней человека, животных и растений.

Вторая глава называется «Популяция в аспекте микро-систематики и экологии». На первый взгляд может показаться, что тут нет прямой связи с генетикой. Но это не так. Последующие главы книги, посвященные важнейшим проблемам популяционной генетики, не могут быть в должной мере усвоены читателем, если у него нет четкого представления о виде популяции. Рецензент считает эту главу весьма нужной и потому, что в лекциях по биологии, читаемых в вузах, понятиям вида и популяции, как правило, уделяется недостаточно внимания.

Главы с третьей по восьмую включительно достаточно полно и на высоком современном уровне освещают основные положения популяционной генетики: закономерности наследования в популяции, значение мутационного давления, действие отбора, генетический дрейф, миграции, хромосомный и биохимический полиморфизм, «мода» на мутации, инсерционный мутагенез, гибридный дисгенез. Все эти проблемы представлены четко, подкреплены убедительными примерами, указаны

разнообразные методы, применяемые при их изучении (в том числе и математические приемы).

В последней главе Л.З. Кайданов говорит о концепции видообразования. Рецензент считает, что эта глава написана первоклассно. Знакомство с ней необходимо не только специалистам, работающим в области популяционной генетики, но и многим другим ученым-биологам, занимающимся фаунистикой и флористикой, систематикой, биогеографией, филогенетикой, экологией, эволюционной теорией.

Давая такую высокую оценку основной части книги, рецензент вынужден отметить некоторые недочеты второй части — приложения, содержащего описание биометрических подходов, которые могут быть использованы в популяционной генетике. Автор приложения Н.Н. Хромов-Борисов иллюстрирует применение рассматриваемых им биометрических методов примерами, не особенно убедительными для биологов, занимающихся популяционной генетикой.

В этом разделе довольно пространно говорится об истории зарождения и развития вариационной статистики и биометрики, хотя это не имеет непосредственного отношения к основному сюжету книги. При решении биометрических вопросов автор приложения пользуется почти исключительно статистическим критерием значимости  $s^2$ , игнорируя классические биометрические методы, хотя они не менее точны и более привычны для наших биологов (рецензент считает лучшей из книг по биометрии «Введение в статистическую генетику» П.Ф. Рокицкого, вышедшее в 1978 г.).

При переиздании (а оно несомненно потребует) желательно еще поработать над второй, подсобной частью этой в целом отличной книги.

## Штрихи истории «лесного отшельника»

**В. П. Белик,**

кандидат биологических наук

**Л. И. Тараненко,**

кандидат биологических наук

Ростовский университет

В 1991 г. в «Природе» был опубликован интересный очерк о лесном отшельнике — черном аисте (*Ciconia nigra*) — очень редкой, скрытной, малоизученной птице, внесенной в Красные книги всех стран Евразии, в которых она обитает<sup>1</sup>. Тайна черного аиста уже долгое время привлекает пристальное внимание многих исследователей, пытающихся понять причины его исчезновения и разработать методы восстановления численности. Вопросам его охраны был посвящен даже специальный международный симпозиум, состоявшийся в апреле 1993 г. в Латвии. В его работе приняли участие 55 орнитологов из 15 государств Европы и Азии — от Испании до Китая. Исследователи представили 26 докладов, а также серию видеофильмов и слайдов, освещавших экологию и распространение черного аиста в различных регионах, его миграции, результаты разведения в неволе и др.

Ключом к решению некоторых проблем могли бы стать изучение былого ареала этой птицы и выяснение ее роли в экономике и культуре различных народов Евразии. При этом некоторые моменты истории аиста должны бы представ-

лять интерес, на наш взгляд, не только для орнитологов, но и для таких далеких от изучения птиц специалистов, как этнографы и лингвисты.

Распространен черный аист весьма широко — от Пиренеев и Прибалтики до Приморья и Маньчжурии и от таежных лесов на севере до горной цепи на юге Евразии. В отдельных районах в прошлом он не был редкой птицей, а кое-где, например в Ленкоранской низменности на побережье Каспия, еще совсем недавно во множестве гнезился даже в ближайшем соседстве с человеком<sup>2</sup>. Но сейчас таких плотных популяций уже нигде не осталось, а в степной зоне черный аист, по-видимому, исчез полностью, в результате чего его ареал распался на две части — северную лесную и южную горную.

Изучив по документам распространение этого аиста на Дону, мы установили<sup>3</sup>, что и здесь, судя по свидетельству С.Г.Гмелина, А.И.Ригельмана и других исследователей, он был обычным, а местами даже массовым видом вплоть до начала XIX в. Пытаясь же проследить его историю в глубь веков, мы занялись

поиском упоминаний о находках остатков аиста в захоронениях на месте древних поселений человека, среди так называемых «кухонных отбросов». Однако, к нашему удивлению, следов интересовавшей нас птицы фактически нигде не оказалось. Так, среди 684 костей птиц, собранных на средневековом городище Саркел на Нижнем Дону (IX—XII вв.), встречаются, по определению М.А.Воинственского, остатки дрофы, серого журавля, пеликанов, беркута, балобана, филина, очень много — орланов, лебедей, уток и ворон, но ни одного аиста палеонтологи здесь не нашли<sup>4</sup>.

Аналогичную картину дает изучение обильных остеологических материалов из культурного слоя средневекового Цесисского замка в Прибалтике (XIII—XVIII вв.). Здесь палеонтологи нашли 1586 костей 317 особей и определили, что они принадлежали 41 виду птиц, но среди них не было черного аиста. То же самое и на раскопках древнеславянских поселений, а также в археологических памятниках эпохи раннего железа, бронзы, энеолита и неолита на территории Молдавии, Крыма, большей части Украины, включая ее западные области — Волинь, Подолию и Прикарпатье. Нет остатков этой птицы и на палеолитических раскоп-

© Белик В.П., Тараненко Л.И. Штрихи истории «лесного отшельника».

<sup>1</sup> Ивановский В.В. Лесной отшельник // Природа. 1991. № 4. С.60—65.

<sup>2</sup> Спангенберг Е.П. Черный аист // Птицы Советского Союза. Т.2. М., 1951. С.376—383.

<sup>3</sup> Белик В.П. Черный аист в Ростовской области // Кавказский орнитол. вестн. 1992. Вып.4. С.69—71.

<sup>4</sup> Воинственский М.А. Птицы степной полосы Европейской части СССР. Киев, 1960.

ках, обследованных в Приднестровье и в Черниговской области.

Первая известная нам находка этого вида сделана в Подмосковье на неолитической стоянке, датированной первой половиной III тысячелетия до н.э. Здесь среди массы утиных птиц, добытых первобытными охотниками на болоте, вероятно, во время линьки, обнаружена всего одна кость черного аиста<sup>5</sup>. Позже, уже в отложениях X—XIV вв. н.э., его остатки найдены в раскопе у г. Волковыска в Западной Белоруссии<sup>6</sup>.

Таким образом, кости черного аиста, казалось бы, весьма соблазнительной и легкодоступной добычи для голодного охотника, среди «кухонных отходов» в древних поселениях человека почти полностью отсутствуют, хотя птица была широко распространена в окружающих лесных и лесостепных ландшафтах. Все это заставляет предполагать, что жители Европы в прошлом избегали добывать и употреблять в пищу черного аиста. И лишь в последние столетия он стал объектом преследования людьми, что и вызвало его быстрое исчезновение на значительной части ареала.

Предполагаемый статус черного аиста был связан, по всей видимости, с неизвестными сейчас древними сакральными табу, охранявшими его в качестве священной птицы или объекта тотемического культа. Об

особом положении этого аиста в системе религиозных представлений древних народов Европы свидетельствуют, в частности, некоторые сведения из области археологии и мифологии. Так, в Историческом музее в Москве среди материалов раскопок стоянки Черная Гора (Рязанская обл.), относящейся к III тысячелетию до н.э., мы обнаружили выполненное из кости изображение головы аиста, являвшееся, возможно, культовым тотемом неолитического племени. Кроме того, как удалось установить шведскому орнитологу М. Форсбергу, черный аист считался священной птицей у предков скандинавов — асов: в исландских сагах, воспевающих пантеон эддических богов во главе с Одинем, аисты назывались «ласточками Одина».

Вполне вероятно, что отсвет божественной ауры, падавший на этих птиц, делал их неприкосновенными для человека. Но с упадком языческой религии существовавшие табу постепенно забывались, и в конце концов черный аист стал охотничьей птицей, что и вызвало резкое сокращение его ареала и численности.

Гипотезу о священном значении черного аиста подтверждают также аналогичные запреты в отношении его родственника — белого аиста, — отраженные в известных народных традициях охраны этого вида и в дошедшем до нас фольклоре. Более того, не исключено, что в основе формирования этих традиций и фольклора был черный аист, и лишь с его исчезновением из ближайшего окружения человека они перешли к белому собрату, расселявшемуся по лесной зоне с юга вслед за земле-

дельческой культурой<sup>7</sup>. Подобное, как сейчас установлено, недавно произошло и с названиями данных видов<sup>8</sup>.

Слово «аист», семантически принадлежавшее первоначально только черному аисту, известно уже в древнерусском лексиконе: сначала как «агистъ», к середине XVII в. трансформировавшееся в «аистъ». Происхождение его связывалось или с польским именем *hajster* (черный аист) и украинским *гайстер*, *астер* (аист черногуз, т.е. чернохвостый, черный, а не белый аист!), восходящими к немецкому *Heister*, или с прибалтийскими этнонимами (*Aestii*) и гидронимами (*Aistmares*, *Estmere*). Но достоверность этих связей вызвала обоснованные сомнения лингвистов, поскольку этнонимы и гидронимы скорее всего сами происходили от имени птицы, а ее русское и немецкое названия имеют, возможно, лишь внешнее сходство. К тому же этимология последнего тоже остается не совсем ясна: не исключено, что это аббревиатура двухкоренного слова *Heil-stern*, т.е. счастливая, или святая, звезда, которой могла быть в представлениях германских варваров крупная белогрудая, в черном обрамлении, священная птица.

По нашему мнению, слово «аист» имеет древнее индоевропейское происхождение. Смысл этого названия восходит, вероятно, к санскритскому корню

<sup>5</sup> Карху А.А. Среднеголоценовые птицы из археологических памятников Подмосковья // Орнитология. 1990. Вып. 24. С. 67—71.

<sup>6</sup> Бурчак-Абрамович Н.Н., Цалкин В.И. Материалы к изучению птиц Европейской части РСФСР // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1972. Т. 77. Вып. 2. С. 51—59.

<sup>7</sup> Тараненко Л.И. К происхождению синантропности белого аиста // Материалы 10 Всес. орнитол. конф. Ч. 2. Кн. 2. Минск, 1991. С. 238—239.

<sup>8</sup> Лебедева М.И. Распространение и динамика численности белого аиста в РСФСР // Аисты: распространение, экология, охрана. Минск, 1990. С. 102—108.

«*agasti*» (*agastyā*), т.е. «мудрец». И действительно, если приглядеться, в облике и поведении черного аиста есть какое-то сходство со старым, молчаливым бонзой. Интересно, что это имя носил и один из авторов Ригведы — наиболее древнего собрания религиозных гимнов Индии, составленного уже к X в. до н.э. Позже «агасты» русифицировался в «агисть», а затем — в «аист», первоначально же обозначал святого мудреца — основоположника языческой религии древних ариев.

В связи с изложенным небезынтересно отметить, что если наши предположения окажутся верны, а связь между названием аиста и

этнонимом *Aestii* действительно существует, то тогда Эстонию можно, наверное, именовать страной аистов. Да и в самом деле, Эстония в древнем ареале угрофинских племен — по сути единственная страна, в которой черный аист был широко распространённой и достаточно обычной птицей. И свое название она могла получить среди угрофиннов совсем небезосновательно.

Резюмируя, следует подчеркнуть, что этот аист, по всей видимости, вовсе не пресловутый отшельник. Он скорее изгой постыжеского общества, вытесненный в лесную глухомань и поставленный под угрозу исчезновения в результате

неумеренного — прямого, а чаще косвенного — преследования людьми. Но по мере того, как в XX в. в цивилизованном мире менялось отношение к редким птицам, началось постепенное восстановление ареала и численности черного аиста. Особенно ярко свидетельствует об этом его нынешнее благополучное положение в Прибалтике, Белоруссии и на Украине<sup>9</sup>. Теперь, очевидно, очередь за Россией?

<sup>9</sup> Грищенко В.Н. Динамика численности и ареала черного аиста в Европе // Беркут. 1994. Т.3. Вып.2. С.91—95.

Над номером работали  
Ответственный секретарь  
Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы  
И.Н.АРУТЮНЯН  
О.О.АСТАХОВА  
Л.П.БЕЛЯНОВА  
М.Ю.ЗУБРЕВА  
Г.В.КОРОТКЕВИЧ  
Т.Ю.ЛИСОВСКАЯ  
Л.А.ПАРШИНА  
М.С.ПОКРОВСКАЯ  
Н.В.УЛЬЯНОВА  
Н.В.УСПЕНСКАЯ  
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор  
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественные редакторы  
Л.М.БОЯРСКАЯ, Э.Р.БОЯРСКАЯ,  
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией  
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор  
Е.Е.БУШУЕВА

Компьютерный набор:  
Н.Ф.БОДЕНЦОВА

Перевод  
П.А.ХОМЯКОВ

Корректоры  
В.А.ЕРМОЛАЕВА  
Р.С.ШАЙМАРДАНОВА

В художественном оформлении  
номера принимали участие  
Л.В.БОГАЧЕВ  
В.С.КРЫЛОВА

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:  
117810, Москва, ГСП-1  
Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-23-33  
Факс: (095) 238-26-33

Справки:  
\http:\\www.ripn.net\\infomag

Подписано в печать 31.10.96  
Формат 70×100 1/16  
Бумага типографская № 1  
Офсетная печать  
Усл. печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 74,4 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,1  
Заказ 3065

Ордена Трудового Красного  
Знамени Чеховский  
полиграфический комбинат  
Комитета Российской Федерации по печати  
142300, г. Чехов  
Московской области  
Тел.: (272) 71-336  
Факс: (272) 62-536

# ПРИРОДА

# 12<sup>96</sup>



Еще сравнительно недавно, каких-нибудь полторы тысячи лет назад, на Земле было три больших самостоятельных стада серых китов. Атлантическое стадо полностью исчезло, очевидно, к эпохе викингов, и сейчас трудно даже представить себе, что когда-то серые киты обитали в прибрежных водах Европы. Другое, охотско-корейское, стадо в наши дни насчитывает всего две-три сотни особей. История же третьего, чукотско-калифорнийского, — полна драматизма, но, к счастью, не столь трагична. Неумеренный, сначала американский, затем советский коммерческий промысел XIX—XX вв. поставил его на грань вымирания, но принятые в 40-х годах нашего столетия охранные меры спасли стадо. В настоящее время серые киты этой популяции восстановили свою численность и вновь стали обычными обитателями акваторий у побережий Северной Америки и Северо-Восточной Азии, а охота на них разрешена лишь коренным жителям Чукотки и Аляски.

**Богословская Л. С. СЕРЫЙ КИТ**

