

ISSN 002-874X

ПРИРОДА

9 98



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.
Поликсена (*Zerynthia polyxena*) — бабочка семейства парусников. См. в номере: **Свиридов А.В.** В подарок энтомологу.

Фото А.В.Сочивко

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.
Образец руды единственного в России месторождения серебра. См. в номере: **Константинов М.М.** Серебряный гигант России.

Фото автора



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук,
журнал «Природа», 1998

В НОМЕРЕ

3 Бялко А.В. ТОРСИОННЫЕ МИФЫ

В печати появляются утверждения о существовании неких «торсионных полей» с поразительными свойствами, не укладывающимися в рамки общепризнанной физической теории. Авторы гипотезы сулят гигантский прорыв в технологии, физике, энергетике. Однако ознакомление с теоретическими основами и некоторыми экспериментами выявляет полную научную несостоятельность авторов торсионной гипотезы.

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ МЕДИ МНТЦ «ВЕНТ» (6)

8 Садовников В.В. ДВУМЕРНЫЕ МОЛЕКУЛЫ

Традиционные подходы к описанию хемосорбции кардинально отличаются от теории протекания химических реакций в объеме. Введенное автором понятие «двумерная молекула» позволило построить теорию поверхностных реакций по аналогии с объемными.

16 Силаева О.Л. ЗВУКОПОДРАЖАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ПОВЕДЕНИЯ

Акустический анализ звуков животных и человека позволил обнаружить явление экспресс-имитации, которое, в частности, помогает понять, как птица осваивает речь человека.

25 Фридман А.М., Хоружий О.В. ПРЕДСКАЗАНИЕ И ОТКРЫТИЕ ГИГАНТСКИХ ВИХРЕЙ В ГАЛАКТИКАХ (Окончание)

40 Миронов А.В. «ЗАМЕСТИТЕЛИ» СОЛНЦА

45 Константинов М.М. СЕРЕБРЯНЫЙ ГИГАНТ РОССИИ

Удастся ли возродить добычу руды на Дукате — единственном месторождении серебра в России, рудном гиганте мирового масштаба?

53 Фащук Д.Я. ГЕОГРАФО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ «ПОРТРЕТ» ЧЕРНОГО МОРЯ

Географо-экологическая модель геосистемы морской водоем-водосборный бассейн помогает понять причинно-следственную связь сложных процессов, происходящих в море.

69 ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ Несис К.Н. КАК КРАБЫ-СКРИПАЧИ ОТЛИЧАЮТ ВРАГА ОТ СВОЕГО

71 ВОЗВРАЩЕНИЕ Михеев В.Р. ИГОРЬ ИВАНОВИЧ СИКОРСКИЙ

Знаменитые воздушные гиганты «Русский витязь» и «Илья Муромец» сделали их конструктора национальным героем России. После революции Сикорский с болью в сердце покинул родину. Но впереди его ждала слава лидера мирового вертолетостроения.

87 Бутовская М.Л. ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО СОЦИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Родословная человека сейчас исчисляется 4.4 млн лет, правда, кандидат на ее основателя твердо не определен. Это не мешает, однако, попыткам понять, когда и почему наши далекие предки «встали на ноги», научились изготавливать и применять орудия, обрели «дар речи», какими были сообщества пралюдей и на чем они строились.

100 НОВОСТИ НАУКИ (24) КОРОТКО (39, 44)

121 РЕЦЕНЗИИ Свиридов А.В. В ПОДАРОК ЭНТОМОЛОГУ

124 НОВЫЕ КНИГИ

126 ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ Еремеева А.И. НАВИГАЦКАЯ ШКОЛА В СУХАРЕВОЙ БАШНЕ

CONTENTS

3 Byalko A.V.

TORSIONAL MYTHS

According to some press reports there are "torsional fields" with amazing properties that do not fit into the framework of the generally accepted physical theory. The authors of this hypothesis promise a gigantic breakthrough in technology, physics, and power engineering. However, an acquaintance with the theoretical principles and some experiments reveals that the hypothesis is completely untenable.

RECORD OF MEASUREMENTS OF THE ELECTRICAL RESISTANCE OF COPPER SAMPLES PREPARED BY THE "VENT" CENTER (6)

8 Sadovnikov V.V.

2-D MOLECULES

The traditional approaches to describing chemisorption radically differ from the theory of volumetric reactions. The concept of two-dimensional molecules introduced by the author has made it possible to develop a theory of surface reactions similar to volumetric ones.

16 Silaeva O.L.

SOUND MIMICKING AS AN ELEMENT OF BEHAVIOR

Acoustic analysis of sounds made by animals and humans led to the discovery of rapid mimicking, a phenomenon that helps understand how birds master human speech.

25 Fridman A.M. and Khoruzhii O.V.

PREDICTION AND DISCOVERY OF GIANT VORTICES IN GALAXIES (Concluded)

40 Mironov A.V.

THE SUN'S PROXIES

45 Konstantinov M.M.

THE SILVER GIANT OF RUSSIA

Will it be possible to revive ore extraction at Dukat — Russia's only silver deposit and a world-scale ore giant?

53 Fashchuk D.Ya.

A GEOGRAPHICAL AND ENVIRONMENTAL PORTRAIT OF THE BLACK SEA

A geographical and environmental model of the "marine basin—drainage basin" geosystem elucidates the cause and effect relationship of complicated processes operating in the sea.

69 NOTES AND OBSERVATIONS

Nesis K.N.

HOW CREAKY CRABS TELL AN ENEMY FROM A FRIEND

71 COMEBACK

Mikheev V.R.

IGOR IVANOVICH SIKORSKY

The famous air giants Russkii Vityaz and Ilya Muromets have made their designer a national hero of Russia. After the Bolshevik revolution, Sikorsky left Russia with a pang in his heart. His fame as the leader of world helicopter engineering was yet to come.

87 Butovskaya M.L.

THE EVOLUTION OF HUMANS AND THEIR SOCIAL STRUCTURE

The renowned race is now thought to be 4.4 million years old, although its progenitor has still not been clearly determined. This, however, is no impediment to attempts at understanding when and why our distant ancestors "got on their feet," learned to make and use tools, and acquired a capacity for speech, what the communities of prehumans were like, and what they were based on.

100 SCIENCE NEWS (24)

IN BRIEF (39, 44)

121 BOOK REVIEWS

Sviridov A.V.

A GIFT TO ENTOMOLOGISTS

124 NEW BOOKS

126 ENCOUNTERS WITH THE FORGOTTEN

Eremeeva A.I.

THE NAVIGATION SCHOOL IN THE SUKHAREV TOWER

Торсионные мифы

А.В.Бялко,

доктор физико-математических наук
Институт теоретической физики РАН, журнал «Природа»

ТО, ЧТО в смутные времена повышается восприимчивость людей к псевдонаучным идеям, — известный психологический факт. Публикация статей на такие темы в респектабельных, но далеких от науки изданиях прискорбна, и все же объяснима. Однако когда подобные рассуждения проникают на страницы научной и научно-популярной литературы, это настораживает, поскольку ложная концепция как бы получает благословение со стороны специалистов. Так, в печати продолжают появляться утверждения о существовании неких торсионных полей со свойствами, якобы не укладывающимися в рамки общепризнанной физической теории.

Прежде всего поясним терминологию. В самом словосочетании «торсионные поля», о котором пойдет речь, ничего загадочного или необъяснимого нет. «Torsion» (по-французски скручивание) происходит от латинского «torquere», означающего «кручу». Математически поле — это область пространства, в которой задано распределение вектора или тензора. В физике под теорией поля понимается описание векторных полей, передающих силы, или вообще некоторые воздействия в пространстве и времени. Термин «торсионное поле» употребляется нечасто, но смысл его ясен, это некоторая распределенная в пространстве физическая величина, описывающая силы кручения.

Существуют ли торсионные поля в природе? Да, безусловно. Например, закручивая гайку, вы создаете торсионное поле напряжений в винте. Передаются ли торсионные поля на расстоянии, существуют ли торсионные волны и частицы? Ответ тоже положи-

телен, а примеры разнообразны. Таково, например, электромагнитное излучение с круговой поляризацией¹. Его нетрудно получить или наблюдать в разных диапазонах длин волн (даже солнечный свет, особенно исходящий от солнечных пятен, частично имеет круговую поляризацию). Гравитационные волны, предсказанные теорией поля, но пока имеющие лишь косвенное экспериментальное подтверждение, также должны переносить в пространстве напряжения кручения. Распространение нейтрино, частиц, обладающих спином (но очень редко передающих его среде), описывается тензорным полем с недиагональными или, если угодно, торсионными компонентами. Вообще из всяких частиц со спином (внутренним вращением), в том числе из обычных электронов, можно устроить пучок, поляризованный в направлении распространения или против него. Конечно, такой пучок переносит в пространстве кручение и в этом смысле есть проявление торсионных полей.

Однако в последнее время термин «торсионные поля» стал использоваться в совсем ином контексте. Группа авторов объявила себя открывателями нового, неизвестного в физике вида взаимодействия, проявляющегося в переносе на расстояния напряжений кручения. Они представляются как сотрудники некоего Международного института теоретической и прикладной физики Российской академии естественных наук (РАЕН), а также как сотрудники ТОО Межотраслевого научно-технического центра венчурных и нетрадиционных технологий (МНТЦ

¹ См. напр.: Вульфсон В.С. О моменте количества движения электромагнитного поля// Успехи физ. наук. 1987. Т. 152. Вып. 4. С. 667–674.

«ВЕНТ»). Отметим, однако, что на собрании секции физики РАЕН в марте 1998 г. после доклада руководителей «Международного института» была принята резолюция, отмечающая «несостоятельность научного обоснования исследований», проводимых в нем. Секция физики «не считает возможным существование данного института под эгидой РАЕН».

Критика всего круга идей «торсионистов» была дана и академиком РАН Э.П.Кругликовым — к сожалению, в газетах, а не в научной печати. Газеты, за редким исключением, не слишком компетентны в научных вопросах, а газетная полемика приносит мало пользы для выяснения истины.

Обзорную статью ведущих адептов «учения» о торсионных полях, к сожалению, опубликовал один из академических научно-популярных журналов². Поскольку за полтора года, прошедшие с момента публикации, в нем не появилось критических откликов на эту тему, «Природа» вынуждена высказать свое мнение.

Итак, что же представляют собой торсионные поля с точки зрения пяти авторов? Цитируем по статье и комментируем.

«Если гравитационные поля порождаются массой, а электромагнитные — зарядами, то торсионные поля формирует классический спин, представляющий собой квантовый аналог углового момента вращения».

Эта фраза физически безграмотна: никакого «классического спина» не существует, спин есть принципиально квантовое и релятивистское понятие. Впрочем, поскольку говорится «квантовый аналог», то конкретного содержания в этом высказывании просто нет, есть лишь цель — оставить читателя в неведении: принимают авторы выводы квантовой механики или нет. Если принимают, то должны признать, что спин-спиновое взаимодействие (чаще называемое обменным) — глубоко

разработанное направление квантовой механики, на нем базируется вся теоретическая химия. Но это взаимодействие близкодествующее, для его распространения должна быть перенесена сама частица, несущая спин.

Из дальнейшего изложения, впрочем, следует, что ни теоретическая физика, ни просто логика авторам вообще не нужна. «Длительное время считалось, что константа спин-торсионных взаимодействий, служащая показателем их силы, оценивалась величиной, не больше чем 10^{-66} ». Это — введение читателя в заблуждение. Нет такой константы, нет таких оценок в квантовой механике. Впрочем, уже через фразу читателю сообщается, что «нет ограничений на величину константы спин-торсионных взаимодействий. Если константа становится очень большой, тогда торсионные явления оказываются зримыми». Так выясняется, что понятие «константа», т.е. постоянная, авторы понимают в смысле, одним им известном, захотят — станет она расти без ограничений, до бесконечности.

В своей статье авторы постоянно высказывают взаимоисключающие положения. Сначала мы узнаем, что «энергия и импульс торсионного поля равны нулю. Торсионное поле переносит информацию без переноса энергии». За этим следует: «... в качестве квантов торсионного поля выступают низкоэнергетичные реликтовые нейтрино». Хорошо известно, что нейтрино любого типа обладают энергией, импульсом и моментом импульса, а распространяются со скоростью света. К тому же с помощью реликтовых (т.е. образовавшихся вскоре после Большого Взрыва) частиц невозможно перенести информацию — их уж сколько есть, столько и есть, ничего информационно нового они не несут. Далее утверждается, что «групповая скорость торсионных волн составляет не менее чем 10^9 скорости света» — так перед нами возникает еще одна «константа, которая становится очень большой», согласно лишь умозрительным заявлениям авторов. Кстати, групповая скорость — это скорость переноса энер-

² Акимов А.Е., Шипов Г.И., Логинов А.В., Ломоносов М.Н., Пугач А.Ф. Торсионные поля Земли и Вселенной // Земля и Вселенная. 1996. №6. С. 9—17.

гии в волновом процессе, а у торсионных полей по воле авторов энергии вовсе нет.

Авторы говорят: «Природные среды торсионное излучение не поглощают». Иными словами, взаимодействие между излучением и средой отсутствует. Однако одновременно авторы утверждают, что излучение торсионных волн нетрудно зарегистрировать. Выходит, что приемники излучения содержат нечто, не являющееся природной средой. Так не бывает. Это не различия с общепринятой физикой — это отсутствие элементарной логики и научная безграмотность.

Можно было бы и далее продолжать этот список нелепостей, но и так ясно: для теоретического спора всякая основа отсутствует. Но, может быть, авторы, не имея теоретической подготовки и признанной научной квалификации, все же сумели экспериментально открыть неизвестный науке эффект? Есть ли какая-то фактическая основа для их радикальных заявлений?

Утверждается, что созданы генераторы торсионных полей. Это — одно из немногих высказываний авторов, если не близких к истине, то по крайней мере реалистичных. Авторы не сообщают, как устроены их генераторы, но нетрудно себе представить, как изготовить их из имеющихся в продаже бытовых приборов. Возьмем, допустим, радиотелефон, он, как известно, работает в полосе частот дециметрового диапазона. Присоединим к его генератору волновод (для узкой направленности излучения) и поместим в волновод металлическую спираль или пружину с шагом, близким к длине волны. Все. С помощью такого устройства можно повторить некоторые реальные эксперименты авторов. Его излучение (конечно, чисто электромагнитное) не проходит через металлические или токопроводящие преграды, но зато оно проникает во все щели, по размеру сравнимые с длиной волны, — и это легко выдать за «исключительную проникающую способность». Это электромагнитное поле поляризовано по кругу, оно действи-

тельно переносит момент импульса (т.е., если угодно, это поле торсионно), и в этом нетрудно убедиться с помощью чувствительных приборов типа крутильных весов. При желании им можно передавать информацию, что, впрочем, гораздо более успешно делает его материнский прибор — радиотелефон.

Все остальные свойства авторы доказательно подтвердить не могут. Это относится и к астрономическим приложениям, упоминаемым в статье пяти авторов. С точки зрения общепринятых научных понятий всякая «торсионная» обработка фотографий Земли из космоса или снимков Солнца — бессмысленна, поскольку хиральные молекулы (стереоизомеры) в фотографических процессах не участвуют. Более того, эти «результаты» противоречат даже собственным представлениям авторов — получить изображение Земли в нейтринных лучах невозможно, так как она для нейтрино прозрачна. Во всем же, что касается солнечных нейтрино, читателю лучше обратиться к недавним публикациям «Природы»³.

В саморекламе, рассылаемой по государственным инстанциям, авторы утверждают, что с помощью созданного ими генератора торсионного поля можно существенно изменять свойства материалов. Например, если в процессе изготовления брони воздействовать на расплав металла полем торсионного генератора, то твердость такой брони якобы возрастает в несколько раз. Или другой пример, широко разрекламированный два года назад. Утверждалось, что если медь, кристаллизующуюся из расплава, подвергнуть воздействию торсионного генератора, то электропроводность полученного таким способом образца окажется во много раз выше, чем у контрольных образцов меди. Авторы «открытия» обратились в Миннауки России и Правительство Москвы с просьбой о выделении средств на строительство

³ Копылов А.В. Проблема солнечных нейтрино: от прошлого к будущему // Природа. 1998. № 5. С. 31—40; № 6. С. 27—36.

промышленной установки, а далее — спецзавода для промышленного выпуска «торсионной меди», естественно, с обещанием всех будущих благ от ее внедрения. Согласно их расчетам, при замене проводов московских троллейбусов и трамваев этой, почти сверхпроводящей, медью можно было бы закрыть до половины действующих электростанций Москвы.

Об этом нашумевшем тогда эпизоде его авторы стараются не вспо-

минать. А почему — прочтите приводимый ниже протокол. Отметим только, что проверкой этого «эффекта» занимались выдающиеся физики-экспериментаторы из Института физических проблем им. П.Л.Капицы РАН академик А.С.Боровик-Романов и профессор Н.В.Заварицкий. Физики с большой буквы, с непререкаемым авторитетом для многих поколений ученых — к сожалению, их обоих уже нет с нами.

Протокол измерений электросопротивления образцов меди МНТЦ «ВЕНТ»

Институт физических проблем им.П.Л.Капицы РАН,
05 апреля 1996 года, комната 86, время: 11²⁰—13¹⁰,
температура воздуха в помещении лаборатории 19⁰С.

В эксперименте принимают участие:

1. Боровик-Романов А.С. — академик РАН, советник дирекции ИФП им.П.Л.Капицы РАН, заведующий кафедрой физики низких температур Московского физико-технического института, главный редактор «Журнала экспериментальной и теоретической физики» РАН;

2. Заварицкий Н.В. — доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник ИФП им.П.Л.Капицы РАН, заместитель заведующего кафедрой физики низких температур Московского физико-технического института;

3. Максарев Р.Ю. — представитель МНТЦ «ВЕНТ»;

4. Жотиков В.Г. — кандидат физ.-мат. наук, главный специалист Управления фундаментальных исследований Миннауки России.

Цель эксперимента:
экспериментальная про-

верка «открытия», сделанного представителями МНТЦ «ВЕНТ» о снижении примерно в 80 раз электросопротивления образцов меди, получаемых путем затвердевания из расплава в условиях их облучения так называемыми «торсионными полями».

Образцы и методика измерений

Представитель МНТЦ «ВЕНТ» (Максарев Р.Ю.) предлагает для измерений 2 контрольных образца меди, полученных, по его утверждению, в неодинаковых условиях затвердевания меди из расплава. Один из этих образцов был подвергнут в процессе затвердевания облучению «торсионными полями». По измерениям, выполненным в МНТЦ «ВЕНТ», сопротивление этого образца оказалось в 80 раз меньше, чем у второго образца, который воздействию этих полей не подвергался.

Образец № 1 (был подвергнут облучению «торсионными полями») — параллелепипед с размерами: длина $L=18$ мм; ширина $d=5$ мм; высота $h=1$ мм.

Образец № 2 (не подвергался облучению «торсионными полями») — параллелепипед с размерами: длина $L=11$ мм; ширина $d=1.5$ мм; высота $h=1.5$ мм.

Боровик-Романов А.С. информирует, что в ИФП им.П.Л.Капицы РАН обратилось Министерство науки России с просьбой подтвердить или опровергнуть так называемый «эффект сверхпроводимости меди», якобы имеющий место после воздействия на расплав меди неких «Х-лучей». Утверждается, что электропроводность такой меди возрастает почти в 80 раз. Это — революция в электротехнике, однако тут что-то не так.

Заварицкий Н.В. задает вопрос о том, как выполнялись измерения.

Максарев Р.Ю. сообщает, что измерения проводились с использованием стандартного магазина сопротивлений и универсального ампервольтметра. Излагает подробности измерений, выполненных в МНТЦ «ВЕНТ».

Заварицкий Н.В. (не может сдержать смех) говорит, что у нас любой студент 3-го курса Физтеха знает, что таким способом электрическое сопротивление меди правильно измерить невозможно, так как удельное сопротивление меди мало. Необходимо применять четырехточечную схему измерений с отдельными токовыми и потенциальными концами (рисует на доске схему измерений).

Выясняется, что Максарева Р.Ю. не знаком с понятием удельного сопротивления, хотя, как известно, во всех справочниках по физике приводятся таблицы значений для металлов и сплавов именно этой величины, поскольку она является истинной физической характеристикой образца.

Заварицкий Н.В. заявляет, что вопрос совершенно ясен, нет смысла зря тратить время на эту чушь и предлагает идти пить кофе.

Боровик-Романов А.С. и **Жотиков В.Г.** разделяют мнение Заварицкого Н.В., однако просят его провести необходимые измерения.

Заварицкий Н.В. соглашается и требует, чтобы **Жотиков В.Г.** вспомнил молодость, проведенную в ИФП им.П.Л.Капицы РАН, и выполнил необходимые подготовительные паяльные работы, а также вел протокол измерений.

Жотиков В.Г. берет микропаяльник Заварицкого

Н.В. и под его наблюдением припаяет к образцам № 1 и № 2 токовые и потенциальные концы.

Заварицкий Н.В. сообщает, что **Жотиков В.Г.**, работая в Министерстве науки, не разучился хорошо паять.

Эксперимент

Паяние завершено, и образцы № 1 и № 2 вставляются по очереди в экспериментальную установку Заварицкого Н.В. для измерений малых значений сопротивлений. Проводятся измерения значений тока I при различных значениях приложенного к образцам напряжения U . Участники эксперимента убеждаются, что закон Ома для указанных образцов выполняется.

Для образца № 1 было измерено: при напряжении $U=0.15$ мВ ток через образец равен $I=200$ мА, отсюда сопротивление $R=U/I=7.5 \cdot 10^{-4}$ ом; удельное сопротивление этого образца $\rho_1 = Rdh/L = (2.08 \pm 0.02) \cdot 10^{-5}$ ом·см.

Для образца № 2 было измерено: при напряжении $U=0.30$ мВ ток через образец равен $I=300$ мА, отсюда сопротивление $R=U/I=1.00 \cdot 10^{-3}$ ом; удельное сопротивление этого образца $\rho_2 = Rdh/L = (2.05 \pm 0.02) \cdot 10^{-5}$ ом·см.

Обсуждение полученных результатов

На основании полученных результатов трое участников эксперимента делают вывод о том, что утверждение представителя МНТЦ «ВЕНТ» о различии в **80 раз** электрических сопротивлений «облученных» и «не облученных» так называемыми «торсионными поля-

ми» образцов меди экспериментального подтверждения НЕ НАШЛО.

Боровик-Романов А.С. и **Заварицкий Н.В.** говорят: это стало ясно сразу после сообщения представителя МНТЦ «ВЕНТ» об использованной в этой организации методике измерений этого «эффекта».

Заварицкий Н.В. (достает с книжной полки справочник по физике) зачитывает табличное значение удельного сопротивления чистой меди при комнатной температуре $t=20^{\circ}\text{C}$, $\rho_0=1.7 \cdot 10^{-6}$ ом·см. Обращаясь к Максареву И.Ю., говорит, что проводимость меди в образцах, представленных МНТЦ «ВЕНТ», на порядок хуже значений, приводимых в справочниках. Обращается к **Жотикову В.Г.** и спрашивает, что будем делать?

Жотиков В.Г. говорит, что с Нобелевской премией по этому вопросу пока придется повременить. О результатах будет доложено руководству Миннауки России.

Все молчат.

Максарев Р.Ю. говорит, что в помещении очень душно и просит разрешения его покинуть. Уходит.

Боровик-Романов А.С. просит **Жотикова В.Г.** все максимально полно записать и предлагает всем идти пить кофе.

На этом эксперимент заканчивается.

Протокол вел

В.Г. Жотиков.

Протокол утвержден начальником Управления фундаментальных исследований Миннауки России

В.В. Румянцевым.

Подведем итог. Утверждения «торсионистов» научной ценности не имеют, их теоретические и экспериментальные работы выполнены на непрофессиональном уровне.

Двумерные молекулы

В. В. Садовников



Василий Васильевич Садовников, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории гетерогенного катализа Института химической физики им. Н. Н. Семенова РАН. Область научных интересов — протекание химических реакций на поверхности, хемосорбция.

ТЕОРИИ хемосорбции — адсорбции атомов или молекул на поверхности с образованием химических связей — разрабатываются уже несколько десятков лет. Поскольку в основе рассматриваемого явления лежат те же химические реакции, только протекающие на поверхности (в двумерном пространстве), сама структура теории (модель, аксиоматика, математический аппарат химической кинетики и термодинамики), казалось бы, должна быть аналогична структуре теории, описывающей объемные химические реакции. Однако существующие теории хемосорбции построены не так. Мы же попытаемся подойти к проблеме именно с позиций такой аналогии.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Представим себе, что инженер, окончивший химико-технологический институт, приходит на завод и ему ставят задачу: рассчитать равновесную концентрацию бутадиена, который получается из бутена при 500°C и окончательном давлении смеси 1 атм. Молодой человек, вспоминая несколько лекций по термодинамике, которые он прослушал когда-то на втором курсе, все же сообразит, что прежде всего необходимо написать **стехиометрическое уравнение реакции**. Уравнение составляется для **статистически независимых частиц** (энергия которых не зависит от их концентрации). В данном случае это молекулы газовой фазы. Затем, используя термодинамические таблицы, где всего по три характеристики для каждого химического соединения (энтальпия, энтропия и мольная теплоемкость), можно рассчитать **свободную энергию реакции**. Далее, по уравнению Гиббса —

найти константу равновесия реакции, значение которой позволит, наконец, определить концентрации всех реагентов при данном давлении. Причем такой расчет с высокой точностью производится в широких диапазонах концентраций, температур и давлений.

Теперь поставим аналогичную задачу перед специалистом в области химии поверхности: рассчитать равновесное заполнение, скажем, поверхности вольфрама кислородом при давлении 10^{-6} торр и при тех же 500°C . И специалист ответит: «Вам нужно либо самим поставить такой эксперимент, либо найти в литературе уже готовые данные». На вашу реплику, что в химии аналогичная проблема давно решена указанным выше способом, вам ответят, что в химии поверхности нет понятия **стехиометрического уравнения поверхностной реакции**. Для термодинамического или кинетического уравнения безразлично, находится ли адсорбированный атом (адатом) над центром ячейки квадратной решетки (и связан с четырьмя поверхностными атомами металла), в седловине (и связан с двумя атомами металла) или над узлом решетки (и связан только с одним поверхностным атомом).

Не существует и термодинамических таблиц, поскольку последние могут быть составлены только для статистически независимых частиц, которые в химии поверхностных соединений просто не рассматривались. Энтальпия, энтропия, мольная теплоемкость, а также свободная энергия и константа равновесия образования какой-либо поверхностной группы не могут быть постоянными величинами, а зависят от концентрации «близко расположенных» групп.

Итак, в чем суть противоречий? В том, что в основе химии соединений, существующих в объеме, лежит статистически независимая частица, которая охарактеризована стехиометрически, т.е. представлена химической формулой. Ею является молекула в газовой фазе, сольватированный ион в растворе, ион или радикал в высокотемпературной плазме — в общем все

объекты, подчиняющиеся Больцмановской статистике. Математический аппарат химической кинетики и термодинамики описывает превращение одних частиц в другие.

Химия соединений, существующих на поверхности, отталкивается от представлений о поверхностной группе, которую можно дифференцировать спектрально: адсорбированный атом, адсорбированная молекула, фрагменты молекул, связанные с поверхностью. Математический аппарат кинетики и термодинамики описывает поведение этих групп. Известно, что эти поверхностные группы не обладают свойствами статистически независимых частиц: теплоты их образования (теплоты хемосорбции) всегда зависят от их концентрации. А вопрос о существовании на поверхности частиц, имеющих Больцмановское распределение по энергиям, поднимался только в отдельных работах¹.

В связи с этим возникает вопрос: есть ли основания строить аналогичные по сути теории на столь взаимоисключающих принципах? Не имея стехиометрически охарактеризованных статистически независимых частиц на поверхности и соответственно не зная термодинамических характеристик этих соединений, не располагая универсальными уравнениями, основанными на Больцмановском распределении частиц, мы с помощью существующих теорий хемосорбции не можем произвести простейшие количественные расчеты, аналогичные тем, которые в химии осуществлялись уже в начале века, после создания основ термодинамики.

Итак, рассмотрим все вопросы по порядку. Применим условно термин **двумерная молекула (ДМ)** для характеристики статистически независимой частицы на грани монокристалла.

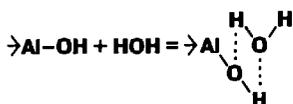
СУЩЕСТВУЮТ ЛИ ДВУМЕРНЫЕ
МОЛЕКУЛЫ?

Решающим аргументом в пользу существования ДМ на поверхности (так

¹ Садовников В.В. // Поверхность. 1995. № 6. С.73; Там же. С.88.

же, как и в объеме) была бы применимость уравнения Гиббса—Гельмгольца, основного уравнения химической термодинамики для описания равновесия реакции. Изотермический вариант этого уравнения имеет один параметр — константу равновесия, которая не зависит от концентраций участвующих в реакции молекул, будь это молекулы на поверхности или в объеме.

В качестве примера приведем реакцию хемосорбции воды, протекающую с участием ДМ на поверхности оксида алюминия². Если стехиометрию реакции записать следующим образом:



(константа равновесия k есть отношение концентрации продукта реакции к концентрациям исходных веществ — воды и поверхностных гидроксидов), то в интервале температур от 90 до 170°C и давлениях паров воды в интервале от 0.2 до 0.002 атм константа равновесия остается строго постоянной. Иначе говоря, при изменении концентрации воды в газовой фазе в 100 раз количество адсорбированной воды отклоняется от расчетного лишь на 2%, что находится в пределах ошибки измерения. В этих опытах концентрация поверхностных гидроксидов ($\rightarrow \text{Al-OH}$) определялась независимым способом, по обмену OH-групп на OT-группы (оксида трития). При этом исходная концентрация гидроксидов варьировалась более чем в 100 раз путем обмена на неактивные группы ОК (оксида калия). Таким способом удавалось достичь контролируемого изменения концентрации продуктов реакции почти в 10^4 раз, а численное значение константы равновесия при изменении концентрации паров воды оставалось неизменным.

Рассчитанные из этих данных по уравнению Гиббса—Гельмгольца значения энтальпии и энтропии данной реакции, $\Delta H = -5.8$ ккал/моль и $\Delta S = -3.7$ кал/(моль·град), — постоянны и их можно считать **табличными характеристиками**. Их величины не зависят от концентрации поверхностных гидроксидов, меняющейся в пределах четырех порядков.

Итак, положительно решены три принципиальных и взаимосвязанных вопроса:

- существование ДМ на поверхности;
- возможность составления термодинамических таблиц;
- адекватность стехиометрической записи ДМ.

КАКИМ ПУТЕМ ИДТИ ДАЛЬШЕ?

Можно ли понятие стехиометрически охарактеризованных объектов, подчиняющихся бальмановскому распределению по энергиям, распространить на другие случаи, например на классический случай латерального взаимодействия в системе адатома/грань металла? Или же физический смысл явления либо экспериментальные данные предписывают пользоваться качественной теорией взаимодействующих поверхностных групп?

Рассмотрим сначала физический смысл посылок существующих теорий взаимодействия газ—твердое тело.

1. В решеточной модели предполагается, что частицы локализируются в узлах решетки³. Но на самом деле это не так. Адатоны должны располагаться в местах, соответствующих минимуму свободной энергии системы. Положение этих мест определяется экспериментально, например методом дифракции медленных электронов, если адатоны образуют регулярную структуру. Так, центр масс атома азота на грани (100) монокристалла железа⁴ размеща-

² Садовников В.В., Гефтер А.М. // Изв. АН СССР. Сер. хим. 1976. № 6. С.1220.

³ Товбин Ю.К. Теория физико-химических процессов на поверхности газ—твердое тело. М., 1990.

⁴ Bozo F., Ertl G., Grunze V. and Wiess M. // J. Catalysis. 1977. V.49. P.18.

ется в междоузлии квадратной решетки на расстоянии 0.28 \AA от поверхности кристалла, и это типичный случай, что вполне естественно: в таком положении адатом образует максимальное число связей с атомами металла (и потенциальная энергия взаимодействия понижается).

2. Когда рассчитывают энергию взаимодействия между «ближайшими соседями», всегда имеют в виду взаимодействие между адатомами, расположенными в соседних ячейках⁵. Но между соседними адатомами вообще не существует прямых химических связей. Ведь ближайшие соседи адатома — поверхностные атомы металла, с которыми он связан ковалентными связями, а как раз эти-то связи и не рассматриваются. Даже число этих реальных связей не входит ни в какие уравнения, и, очевидно, их энергия никак не рассчитывается.

3. Наконец, для взаимодействия между «ближайшими соседями», т.е. адатомами⁶, в качестве аналога берут ван-дер-ваальсовы силы. Однако ван-дер-ваальсово взаимодействие на таких расстояниях носит характер притяжения, что вызывает уменьшение свободной энергии системы с ростом концентрации молекул. Взаимодействие же между самими адатомами, судя по экспериментальным данным, — отталкивающее, т.е. свободная энергия системы увеличивается с ростом концентрации адатомов. Ясно, что подобные аналогии не могут служить основой для моделей взаимодействия ДМ.

Таким образом, в существующих теориях налицо расхождение с физико-химией латерального взаимодействия. Почему так сложилось? Потому, что иначе не удастся использовать существующие статистические теории, привязанные к модели твердого тела — решеточной или близкой к ней модели Изинга, описывающей систему спинов в магнитном поле. Использо-

вание же этих моделей — устоявшаяся консервативная традиция.

Нарушим эту традицию и попытаемся построить теорию исходя из доминирующей роли связей адатом—атом поверхности. Взаимодействие адатомов друг с другом и, значит, свойства этих латеральных связей будут определяться смещением электронной плотности вдоль оси, связывающей центры атомов, в условиях дополнительных связей адатом—атомы металла. Аналогичным смещением объясняется в значительной степени реакционная способность органических соединений. Ограничимся здесь качественным изложением предлагаемой теории.

СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА АДАТОМЫ, И СТЕХИОМЕТРИЯ ЧАСТИЦ

Рассмотрим изображенную на рис.1 квадратную решетку поверхностных атомов. Адатома, обозначенные на рисунке крестиками, обычно располагаются в центрах междоузлий (или, что одно и то же, — в центрах элементарных ячеек, например, адатом *a*), так как в этой позиции они связаны с максимальным числом поверхностных атомов металла *b*, *c*, *d* и *e*. Поэтому основой стехиометрических соотношений поверхностных соединений для квадратной решетки должны быть соединения M_dA (здесь и далее *M* — поверхностный атом решетки, *A* — адатом).

Если адатом является акцептором электронов, смещение электронной плотности при образовании основных связей между адатомом *a* и поверхностными атомами металла происходит в направлении жирных стрелок: от поверхностных атомов металла к адатому (см. рис.1). Поэтому, если в соседнем междоузлии оказываются адатома, например, *f* или *g*, они так же, как и адатом *a*, оттягивают на себя электроны, в частности адатом *f* — от атомов металла *c* и *d* и еще двух в своей ячейке, адатом *g* — от атома металла *b* и еще трех в квадратной решетке. В этом случае электронная плотность у атомов ме-

⁵ См. сноску 3, а также: Жданов В.П. Элементарные физико-химические процессы на поверхности. Новосибирск, 1988.

⁶ Жданов В.П. Там же.

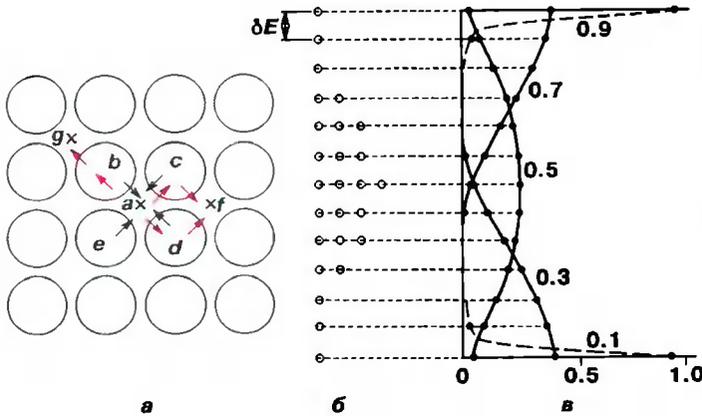


Рис. 1. Квадратная решетка. а: \circ — поверхностный атом металла, \times — адатом. Сдвиги электронной плотности при образовании основных связей отмечено жирными стрелками, а вследствие влияния адатомов — цветными; б — \circ — положение базовых энергетических уровней адатомов; в — вероятность заполнения уровней при разных отношениях концентрации адатомов и поверхностных атомов (указаны числами у кривых).

талла b , c и d понижается (цветными стрелками показан сдвиг электронной плотности от адатома a в присутствии адатомов f и g). Это смещение электронной плотности приводит к ослаблению связи адатома a с поверхностью на $3\delta E$, т.е. на δE при каждом контакте поверхностного атома металла с адатомом в первой координационной сфере.

Итак, физический смысл δE : δE — это энергия, на которую понижается прочность связи адатома с решеткой при каждой дополнительной связи атома металла с адатомом в первой координационной сфере.

Число этих контактов и нужно отразить в стехиометрии поверхностной статистически независимой частицы как указание числа связей с адатомами, которые имеет атом металла, входящий в статистически независимую частицу. Например, в случае, изображенном на рис. 1, один из атомов металла (e) имеет одну связь с рассматриваемым адатомом, а три других (b , c , d) — по две: одну связь с рассматриваемым адатомом и по одной с посторонними адатомами. Поэтому стехиометрическая формула изображенной на рис. 1 конфигурации имеет вид $M_1^1M_3^2A$.

Очевиден и знак взаимодействия: раз при повышении концентрации адатомов ослабляется связь адатома с поверхностным атомом металла, значит, растет свободная энергия системы и

понижается энергия активации десорбции, требуемая для разрыва связей.

Здесь важно разграничить понятия: по термодинамическим измерениям можно вычислить свободную энергию образования или распада молекулы (конфигурации), δG . В нее входят не только изменения прочности связи атомов в молекуле (в конфигурации), δE , но и все изменения, вызванные этим процессом. Однако эти характеристики тесно связаны. Даже при составлении термодинамических таблиц, предназначенных для точных расчетов, используется правило аддитивности свойств связи. В применении к данной ситуации оно может быть сформулировано так: прочность связи адатома в ячейке линейно зависит от числа связей атомов металла, входящего в эту ячейку, с ближайшими адатомами.

КОМБИНАТОРИКА И МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Перебор всех возможных комбинаций показывает, что для квадратной решетки существует по 26 вариантов конфигураций заполненных (содержащих адатом в центре) и вакантных (без адатома) ячеек. Заполненным ячейкам отвечает формула M/M_4-fA , вакантным — M/M_4-f . Совокупность всех таких конфигураций обладает свойствами статистически независимых частиц во всем интервале заполнения поверхности адатомами. Это и есть модель газа, состоя-

щего из двумерных молекул, причем газа идеального во всем интервале заполнений, от нуля до единицы.

Учитывая, что атом металла, входящий в конфигурацию, может образовывать в квадратной решетке по три дополнительные связи с ближайшими адатомами, а так же конфигурацию, в окружении которой нет адатомов, можно подсчитать число базовых уровней, на которых могут находиться адатомы в указанных 26 конфигурациях: оно равно 13, причем все эти уровни эквидистантны (см. рис.1,б). Говоря языком спектроскопии, энергетический уровень адатома в квадратной решетке расщепляется на 13 подуровней. Заселенность уровней эквивалентна концентрации частиц в кинетических уравнениях.

Для системы атом азота/квадратная ячейка железа E — энергия нижнего уровня энергетического спектра — составляет 140 кДж/моль относительно вакуума, а $\delta E/E=3.9\%$. И это типичный случай.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ

Рассмотрим влияние на рассматриваемый адатом более отдаленных атомов. На рис.2 штриховой линией обозначены междоузлия, расположенные в первой координационной сфере по отношению к рассматриваемому адатому a , а пунктирной — во второй. Адатомы из второй координационной сферы повышают энергию центрального (рассматриваемого) адатома на значение $\delta'E$. Причину того, что этот «добавок» противоположен по знаку δE , можно усмотреть из рис.2: адатомы, находящиеся во второй координационной сфере (например, адатом c), оттягивают на себя электроны от окружающих атомов металла, в том числе и от

атомов металла d и e (показано стрелками), что в свою очередь ослабляет связь между этими атомами металла и адатомом b , уменьшая его влияние на адатом a .

Рассмотрение всех возможных конфигураций с учетом адатомов во второй координационной сфере показывает, что их наличие расщепляет каждый из 13 уровней адатома еще на 29 подуровней; наличие адатомов в третьей координационной сфере расщепляет каждый из этих уровней еще на 45 подуровней и т.д. И так, энергетическая структура системы адатом — грань кристалла строится по комбинаторному принципу, как в свое время строилась энергетическая структура электронов в атоме.

Такие базовые понятия, как **энергетический уровень адатома, заселенность уровня, расщепление уровня**, используемые в данной концепции, полностью отсутствуют в общепринятой теории хемосорбции так же, как и отсутствует само понятие «двумерная молекула».

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ТЕОРИИ

Математический аппарат теории достаточно прост: составляются кинетические уравнения, описывающие стадии образования и распада двумерных молекул. Есть пять типов независимых экспериментов по изучению обмена между газовой и поверхностной фазами: определение изотермы адсорбции, нахождение скоростей адсорбции и десорбции, изучение гетерообмена и из-

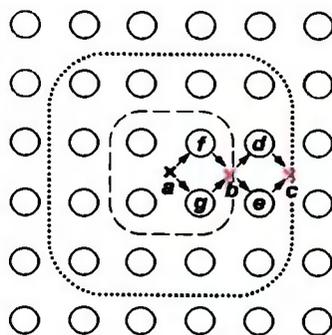


Рис.2. Квадратная решетка. Штриховая линия проходит через междоузлия первой координационной сферы, пунктирная — через междоузлия второй. Цветными крестиками показаны адатомы, влияющие на связи рассматриваемого адатома с атомами металла. Стрелками отмечено смещение электронной плотности, вызванное адатомом c .

мерение дифференциальных теплот адсорбции. Ожидаемые экспериментальные характеристики в рамках предлагаемой теории предсказываются, исходя из следующих соображений:

— изотерма адсорбции, т.е. зависимость количества адсорбированного вещества от давления находящегося с ним в равновесии газа, рассчитывается как суммарная заселенность адатомами всех энергетических уровней при различных давлениях. В полулогарифмических координатах (зависимость заполнения от логарифма давления) для газа ДМ изотерма будет симметрична относительно 50%-го заполнения;

— скорость адсорбции определяется как суммарная скорость заполнения всех вакантных энергетических уровней;

— скорость десорбции определяется как суммарная скорость перехода адатомов со всех энергетических уровней в газовую фазу;

— скорость гетерообмена задается суммарной скоростью обмена между компонентами газовой фазы и ДМ с учетом всех энергетических уровней. Концентрация изотопа, используемого для измерения, в газовой фазе всегда будет иметь экспоненциальную зависимость от времени проведения опыта, в то время как зависимость скорости гетерообмена от давления газовой фазы становится все более слабой при по-

вышении концентрации адатомов. Иначе говоря, «временной» и «концентрационный» порядки не совпадают;

— дифференциальная теплота адсорбции вычисляется как разность между теплотами, выделяемыми при заполнении более высоких уровней, и теплотами, поглощаемыми при переходах адатомов с более низких уровней на более высокие.

В существующих моделях хемосорбции, как говорилось, не используется ни понятие энергии уровня, ни его заселенности.

ЧТО ЖЕ ДОКАЗЫВАЕТ ЭКСПЕРИМЕНТ?

Начну с иллюстрации. На рис.3 показаны экспериментальные данные по равновесному давлению молекулярного азота над поликристаллическим железом⁷. Насколько мне известно, эти данные получены в самом широком интервале давлений газа (оно изменялось на девять порядков) и поэтому наиболее информативны. Сплошная линия в действительности представляет собой четыре кривые, совпадающие друг с другом в пределах точности расчетов, полученные путем решения двухпараметрических уравнений в изотермическом варианте. Одна из кривых — результаты расчета по уравнению (11) только что упоминавшейся работы. Модель — исходно неоднородная поверхность. Параметры b_1 и b_0 имеют размерность давления. Вторая кривая является решением системы уравнений (11—18) работы⁸. Модель — двумерные молекулы; параметры: константа равновесия k , атм^{-1} и $\Delta k = \exp(-\delta E/RT)$ — уменьшение константы равновесия при переходе к ДМ другой стехиометрии. Третья кривая — это результаты решения уравнения (9) из работы⁹. К этому уравнению приводят сразу два варианта модели: в одном случае адатомы помещаются в междууз-

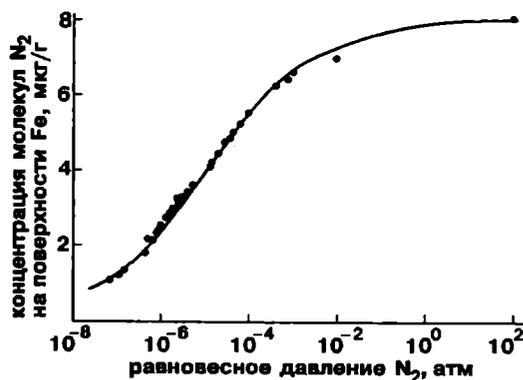


Рис.3. Изотерма адсорбции. Точки — экспериментальные данные, линия — результаты расчетов.

⁷ Романушкина А.Е., Киперман С.Л., Темкин М.И. // Журн. физ. химии. 1953. Т.28. С.1181.

⁸ См. сноску 1.

⁹ Садовников В.В. // ДАН СССР. 1977. Т.235. № 3. С.637.

лии или седловине, во втором — двухатомная молекула на поверхности находится в диссоциированном или недиссоциированном состоянии. Параметры: две константы равновесия, k_1 и k_2 , атм^{-1} .

Наконец, четвертая кривая рассчитана с помощью уравнения (15.7) уже упоминавшейся монографии В.П.Жданова. Модель — латеральное взаимодействие типа схемы Изинга.

Итак, уравнения четырех различных типов с параметрами, интерпретируемыми совершенно по-разному с физической точки зрения, дают результаты с расхождением меньшим, чем погрешность в эксперименте. Это же относится и к любой другой изотерме, и к термодесорбционному спектру любой сложности. Возрастает лишь число параметров, если термодесорбционный спектр имеет более одного пика.

Ситуация аналогична приведенной в монографии¹⁰, в которой представлены 150 разновидностей уравнений (каждое с двумя или тремя параметрами), описывающих процесс конденсации пара (зависимость давления пара от температуры) примерно с одной и той же точностью.

Какие выводы можно сделать из сложившейся ситуации? Очевидно, эксперимент какого-то одного типа здесь не позволит выбрать тот или иной вариант теории. Поэтому исследователь не имеет права, исходя из теории, в которой трудно увидеть ясный физический смысл, однозначно интерпретировать параметры, как это сделано, например, в табл.5 монографии Ю.К.Товбина. Возможно, временным выходом из положения для чисто практических нужд было бы использование в расчетах вириальных уравнений, аналогичных тому, которое предложил Х.Камерлинг-Оннес, в качестве уравнения состояния конденсирующегося пара. Тогда в аналогичных таблицах будут значиться: «вириальные коэффициенты № 1, 2, 3...», а не «параметры взаимодействия адатомов в первой и второй и т.д. координатных сферах».

Основным аргументом при выборе теории должны стать самосогласованные расчеты: очень важно все пять типов независимых экспериментов описать, используя одну модель и одни и те же численные значения констант. Пока это удалось выполнить лишь в рамках рассматриваемой теории. И дело не только в сложности расчетов, хотя она неизмеримо выше, чем при описании одного конкретного эксперимента. Просто в традиционных теориях не определены понятия. Скажем, говорить о константе скорости как функции степени заполнения не конструктивно: такая величина не может быть применена при самосогласованных расчетах, поскольку по своему физическому смыслу отношение констант скорости адсорбции и десорбции есть константа равновесия. Или, скажем, для системы азот — железо в рамках традиционных подходов изотермы адсорбции рассчитываются для модели неоднородной поверхности, гетерообмен (на тех же поликристаллических образцах) — для модели однородной поверхности, термодесорбционные спектры — для модели взаимодействующих адатомов, а эксперименты по определению скорости адсорбции из-за сложности вообще теоретиками не рассматриваются. Авторы ссылаются друг на друга, умалчивая о том обстоятельстве, что все эти модели — взаимоисключающие. А ведь разумно именно самосогласованные расчеты поставить во главу угла расчетной части любой работы.

Итак, предложенная автором теория основана на общепринятой в химии концепции частицы, и предусматривает создание кинетических и термодинамических таблиц. Опубликованных экспериментальных данных достаточно для того, чтобы представить первую таблицу в 100—150 значений таких характеристик для процесса хемосорбции. К сожалению, пока не разработаны удобные и точные расчетные программы обработки экспериментальных данных для массового использования практиками. На решение этой задачи, возможно, потребуется четыре-пять лет. И тогда, я надеюсь, концепция двумерных молекул станет столь же удобна и привычна, как и концепция газовых молекул.

¹⁰ Вукалович М.П., Новиков И.И. Уравнение состояния реальных газов. М.; Л., 1948.

Звукоподражание как элемент поведения

О. Л. Силаева

Посвящается 100-летию со дня рождения Георгия Петровича Деметтьева



Ольга Леонидовна Силаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии и управления поведением птиц Института проблем экологии и эволюции животных им. А.Н.Северцова РАН. Область научных интересов — биоакустика, биалингвистика, экология и поведение птиц.

НЕЛЬЗЯ сказать, что жизнь и научная деятельность известного советского орнитолога Георгия Петровича Деметтьева обойдены вниманием историков и библиографов. Однако в обширной мемуарной литературе почти нет сведений о его работе в области биалингвистики. При жизни Деметтьева это направление только намечалось, но он увидел перспективы и успел высказать несколько важных идей, позднее развитых его учениками.

Мы расскажем о современном состоянии и перспективах тех разделов биалингвистики, развитию которых Деметтьев придал изначальный импульс.

Г.П.Деметтьев родился в Петергофе 5 июля 1898 г. в семье врача. У мальчика рано проявился интерес к биологии. Собранные им коллекции жуков и бабочек сегодня хранятся в Московском зоологическом музее. Его следующим увлечением стали птицы, особенно хищные: наблюдал за ними в природе, вел дневники, рисовал. С юношеских лет увлекался историей и другими гуманитарными науками, много времени уделял изучению языков, свободно владел французским, английским и немецким, знал латинский и греческий.

В 1911 г. Деметтьев поступил сразу в 4-й класс гимназии, которую через четыре года окончил с золотой медалью. Как ни любил птиц Георгий Петрович, он понимал, что профессия орнитолога его не прокормит, поэтому после гимназии поступил на юриди-



Г.П.Дементьев (5.VII. 1898 — 14.IV.1969)

Фото В.Д.Ильичева

ческий факультет Петроградского университета. В 1916 г., после окончания первого курса, его призвали в армию и после трехмесячной школы армейских прапорщиков зачислили в Семеновский полк. Вернувшись с первой мировой войны, продолжил учебу в Петроградском университете.

С 1920 г. Дементьев переезжает в Москву и начинает работать в зоомузее МГУ, первые десять лет — нештатным сотрудником. В короткий срок он становится профессором, ведущим орнитологом страны, автором шеститомного определителя «Птицы СССР» (1934—1941) и шестого тома руководства по зоологии (1941). После войны руководит многотомным изданием «Птицы Советского Союза» (1951—1954), которое было отмечено Государственной премией.

Дементьев ушел из жизни в 1969 г., не завершив всех своих планов, оставив их своим ученикам.

Еще в начале 60-х годов Дементьев начал первые биоакустические исследования в России. В 1963 г. в сборнике МГУ с чисто орнитологической тематикой появилась статья, затрагивавшая проблемы, которые находились на стыке нескольких научных направлений: орнитологии, биоакустики, речевой акустики, фонетики, физиологии¹.

Дементьева заинтересовало сходство названий некоторых птиц с их

¹ Дементьев Г.П., Ильичев В.Д. Голоо птиц и некоторые вопросы его изучения // Орнитология. М., 1963. Вып.6. С.401—407.

вокализацией. Похожее звучание на разных, как родственных, так и неродственных, языках свидетельствовало о неслучайности этих фонетических образований. Позднее звукоподражательные названия птиц определяли как межъязыковые биолингвистические параллелизмы. На основании первых сопоставительных исследований Дементьев сделал блестящий вывод об имитационном происхождении данного лексического пласта, предположив, что названия некоторых птиц создавались на подражании птичьим сигналам.

Примерно в то же время Дементьев увлекся изучением говорящих птиц. Это явление представляет собой как бы обратную сторону «имитационной медали», т.е. имитацию птицами речи. Как птица усваивает речь и каким образом она точно копирует звуки языка с помощью голосового аппарата, отличного от человеческого? И зачем вообще птице нужно подражать человеческой речи? В поисках ответов на эти общие вопросы предполагалось решить и более частные задачи: как и что говорят птицы, какие виды птиц говорят, как научить птиц говорить и почему только птиц? К сожалению, Дементьев не успел развить свои идеи в области биолингвистики, да и такая наука в то время еще не сформировалась.

Наиболее активная научная деятельность Дементьева пришлась на период бурно развивавшейся новой области науки, изучающей голоса животных, — биоакустики, которая получила официальное признание в 1956 г. на Первом биоакустическом конгрессе (США). Именно в это время пришло осознание того, что для решения многих актуальных проблем необходимо объединить усилия разных специалистов. Этот подход и привел к рождению таких наук, как биофизика, бионика, биоакустика, кибернетика.

Еще долгое время после пионерных работ Дементьева коммуникацию птиц и речь человека рассматривали сугубо в отдельности, как две несопоставимые системы. Биоакустики заинтересовались имитацией речи птицами

зادолго до официального признания биолингвистики как науки. И лишь в 1976 г., когда на Первом международном симпозиуме по биолингвистике в Галле (бывшая ГДР) эта область исследований получила статус научного направления, усилия биоакустиков, этологов, орнитологов, физиологов, лингвистов, философов и инженеров-акустиков объединились.

Изучение проблем, входящих в сферу интересов новой науки (возможности звукового общения между биологическими объектами с различными, значительно различающимися сигнализационными системами), продвинули ученики Дементьева. Они подтвердили выводы своего учителя на обширном фактическом материале².

Важным событием конца 70-х годов стала легализация звукоподражательной теории происхождения речи. Это позволило, наконец, и отечественным ученым рассматривать речь в эволюционном аспекте, не вырывая ее из общей системы акустического поведения животных. Накопленная информация не позволяла уже отрицать роль звуковой среды в формировании акустической сигнализации животных и речи человека.

Отношения между членами одного биоценоза не могли развиваться без опоры на звукоподражание. Имитационные контакты позволяли обмениваться жизненно необходимой информацией членам популяции и биоценоза, птицам и млекопитающим; рептилиям и копытным; человеку и животным. И акустическую коммуника-

² Ильичев В.Д., Силаева О.Л., Тихонов А.В. Биоакустические аспекты звукоподражательных названий птиц // Орнитология. М., 1983. Вып.18. С.156—162; Ильичев В.Д., Силаева О.Л. Сравнительно-акустические сопоставления звукоподражательных названий и их коррелят в сигнализации птиц // Актуальные пробл. орнитологии. М. 1986. С.242—246; Ильичев В.Д., Силаева О.Л. К происхождению звукоподражательных названий птиц (эколого-коммуникативная гипотеза) // Инж. этология, биоакустика и биолингвистика птиц. М., 1991. С.107—117; Ильичев В.Д., Силаева О.Л. // Успехи соврем. биологии. 1989. Т.108. Вып.1(4). С.136—151.

цию в целом, и ее компонент — звукоподражание — можно считать элементом адаптации.

Имитационная активность человека на ранних этапах его развития способствовала выживанию в условиях с более сильными животными. Она привела к формированию речи, а в конечном итоге и самого человека, когда он стал использовать звуки среды как элемент акустического поведения. Подражание и звуковое общение человека с животными сформировали целые лексические пласты. Будучи порождением окружающей звуковой среды, слово само становилось фактором управления поведением животных, в частности птиц.

Акустическая система отпугивающего (репеллентного) или привлекающего (аттрактантного) действия, которое управляет поведением животных, также основана на имитациях их сигналов.

Например, лексические репелленты отгона животных типа «кыш-кыш», «пыш-пыш» в языках разных народов имеют общую звуковую основу: хуш (финск.), киш (азерб.), кыш, ишу (болг.), кыш (рус., белорус., туркм., араб.), хаш (англо-ирландс.), шаш (англ.). Это наводит на мысль о том, что они возникли в процессе одомашнивания, когда у человека появилась необходимость голосом управлять поведением полудомашних и домашних животных.

Известно, что шипение характерно для самых разных животных. Наиболее хорошо развиты эти сигналы у видов, обладающих ядовитыми железами или другим «оружием» (яд, зубы, когти, иглы и т.д.)³. Такие предупреждающе-оборонительные звуки останавливают партнера по биоценозу или меняют направление его движения; благодаря им животное не расходует зря энергию, не расстрачивает яда, а как бы управляет поведением соседа по биоценозу.

В природе широко распространено явление, когда безобидные животные, не обладающие «защитным оружием», тем не менее подражают его владельцам, издавая сигналы шипения. Это, например, мелкие птицы (лазоревка, вертишейка), бабочки, шипящий таракан. Такой тип мимикрии, характерной для самых разных групп животных, защищает их при угрозе нападения со стороны потенциальных врагов.

Почему бы человеку не воспользоваться шипением для воздействия на домашних животных, поскольку имитировать его не трудно?

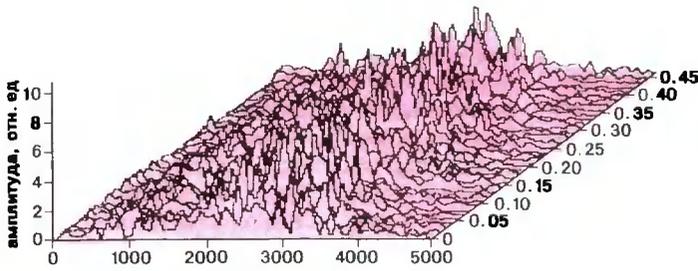
Лексические шипящие репелленты, относящиеся к наиболее древнему пласту лексики, также возникли в широком диапазоне языков. Вероятно, человек позаимствовал этот сигнал у животных. Так сформировалось уникальное явление, которое мы называем мимикрическими параллелизмами⁴, где экологические и лингвистические компоненты вступили в сложное функциональное взаимодействие и в конечном счете оказались взаимополезными для людей и животных.

Есть еще одна причина, объясняющая наш интерес к шипящим сигналам. Известно, что эти звуки, включающие множество частотных максимумов, воздействуют на многочисленные слуховые нейроны, вызывая их перевозбуждение. Именно поэтому ответная реакция на шипение наиболее действенна. Однако акустический анализ таких сигналов труден.

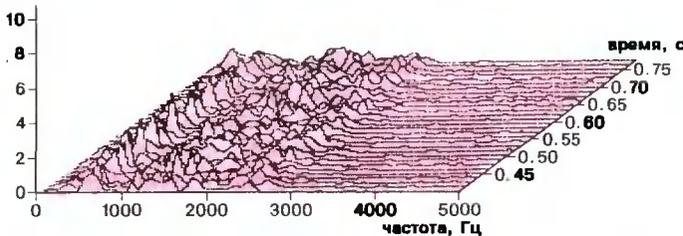
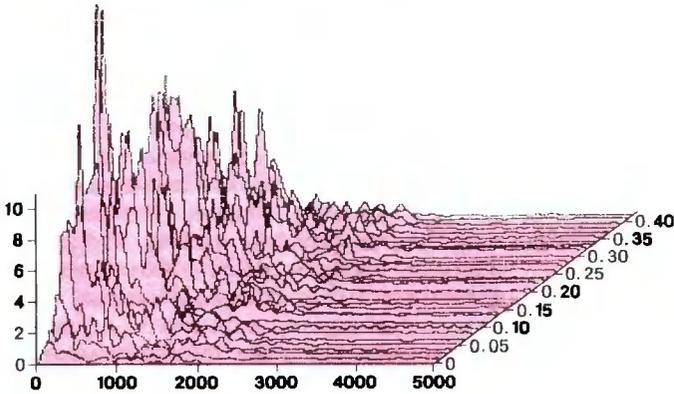
Для обоснования этой гипотезы мы изучали шумовые сигналы 10 видов змей, двух видов черепах, крокодила, диких и домашних кошек, двух видов копытных, семи видов птиц, дикобраза, бабочки дневной павлиний глаз и некоторых других

⁴ Силаева О.Л. Экологические параллелизмы в номинациях, основанных на названиях птиц // Биоакустические синтезаторы и управление поведением птиц. Вильнюс, 1987. С.55—71; Silajewa O. // Verhaltensentwicklung, Reinhardtsbrunn, 1987. S.112; Silajewa O. / Nat.wiss., 1988. Bd.37. N.3. S.294—298.

³ Силаева О.Л. // Успехи соврем. биологии. 1996. Т.116. № 2. С.147—157; Силаева О.Л. // Изв. РАН. Сер. биол. 1996. № 5. С.628—635.



Сонограммы сигналов шипящего таракана (вверху), кобры (в середине) и крокодила (внизу). Видно, что у всех сигналов протяженность частотного спектра почти одинакова.



животных. Полученный материал сопоставили с лексическими репеллентами типа «кыш».

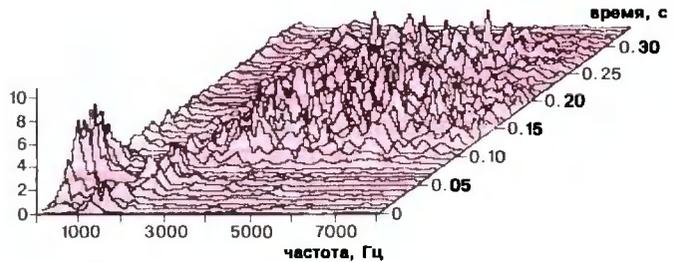
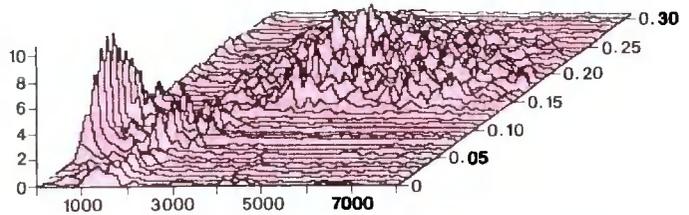
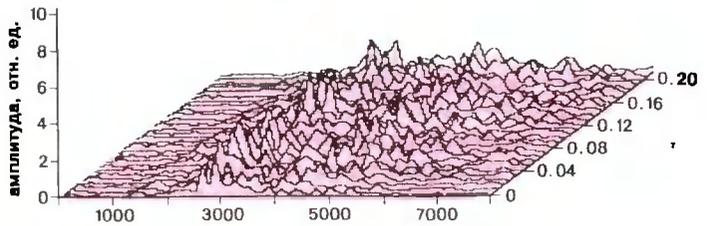
Графики, сделанные с помощью анализатора «КАПРОС-01», показали значительное сходство всех исследованных структур звуков. Выяснилась также ключевая роль звука «ш», оправдывая его присутствие почти во всех известных нам лексических репеллентах, используемых разными народами для отгона животных. Наличие шипящей основы говорит о том, что именно она составляет функциональную часть отпугивающего сигнала. Видимо, меньшее информационное значение имеют другие детали его спектра, в частности полная протяженность.

Параллельно проводились сопоставительные исследования в другой области орнитологической биолингвистики — «говорении» птиц. Первые работы были начаты на материале речевых сигналов человека (прототипные сигналы) и «говорящей» птицы (имитационные сигналы)⁵.

Интересен сравнительный анализ прототипно-модельной речи человека и имитаций птиц, так как имитоны птиц воспроизводятся с помощью голосового аппарата, отличного от человеческого. Значит, разные голосовые систе-

⁵ Силаева О.Л. // Изв. РАН. Сер. биол. 1998. № 1. С.47–54.

Сонограммы звука «ш» (вверху) и репеллента «кыш» (женский голос — в середине, мужской — внизу). Вклад в частотный спектр звука «ш» во всех трех случаях почти одинаков и имеет общую частотную основу с сигналами живот-



мы способны производить сходные звуки, распознаваемые человеком как звуки речи.

Прежде чем рассказывать о наших экспериментах, необходимо вспомнить некоторые понятия речевой акустики. Фонема — это типизированный звук речи⁶; основной тон — гармонические колебания, создаваемые в воздухе голосовыми связками на низшей частоте. Частота основного тона наряду с интенсивностью и длительностью входит в

понятие просодических характеристик речи. Основной компонент спектрального состава речи, т.е. максимум концентрации энергии в звуковом спектре, — форманта. Другими словами, почти все энергетические максимумы, которые располагаются по частотной шкале выше частоты основного тона, и есть форманты. Они образуются в результате резонирования звука, выходящего из гортани. Их соотношения и траектории имеют решающее значение для распознавания фонем.

В качестве птицы-имитатора мы взяли азиатскую майну (*Acridotheres tristis*) по кличке «Бяка». Сопоставлялись просодические и спектральные

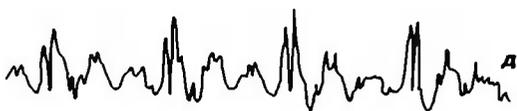
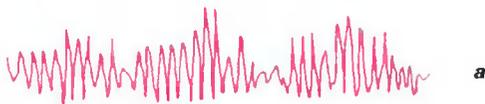
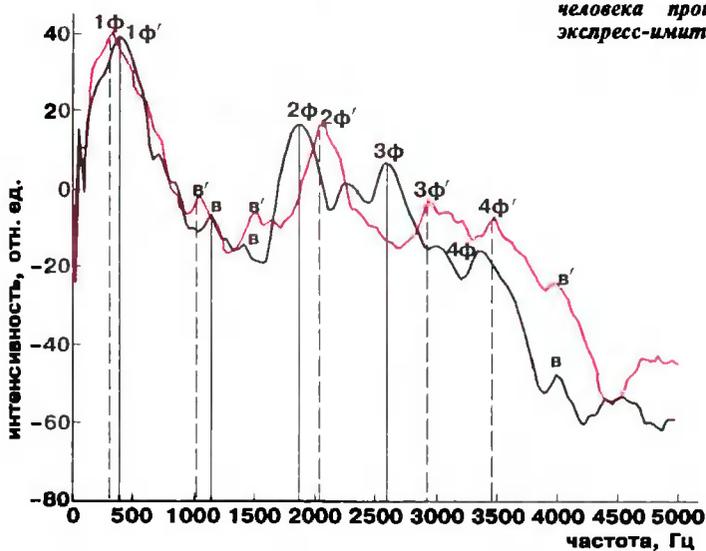
⁶ Сапожков М.А. Речевой сигнал в кибернетике и связи. М., 1963; Потапова Р.К. Речь: коммуникация, информация, кибернетика. М., 1997.

характеристики гласной «я» (фонемы «а») из слова «бьяка», многократно произнесенного птицей, ее хозяином, а также дикторами — двумя мужчинами и женщиной.

Исследования проводились с помощью нового комплексного анализатора природных и техногенных звуков «КАЗ», созданного на базе компьютера IBM в Научно-исследовательском центре распознавания образов под руководством А.Н.Вараксина. Сначала через микрофон в прибор вводится «живой» сигнал или записанный на магнитную ленту через специальный усилитель и звуковую плату. Наличие нескольких каналов ввода позволяет сравнивать два и более сигнала.

Прибор может записывать сигналы длительностью свыше одного часа (частотный спектр сигнала от 20 Гц до 20 кГц). Сигнал автоматически регистрируется на жестком диске во временном файле, из которого его можно перенести в долговременную память сразу в виде осциллограммы или после обработки в виде сонограммы.

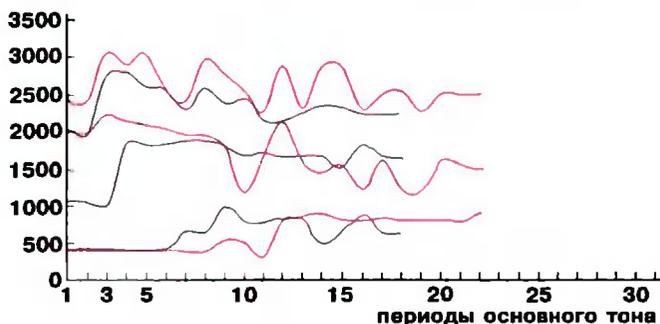
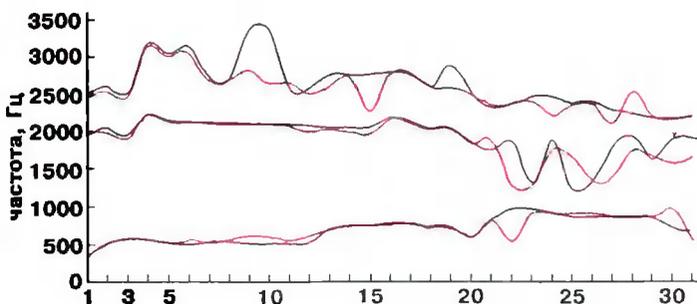
«КАЗ» имеет осциллографический, сонографический и спектрографический режимы. Окрашивая частотные уровни сонограммы в разные цвета (до 10 оттенков), можно яснее увидеть части звукового спектра. Введенные



Осциллограммы периодов фонемы «а» («я») из слова «бьяка»: а — типичный для майны сигнал (вне диалога); б, в — нетипичный для человека сигнал (из диалога с птицей); г — нетипичный для майны сигнал (из диалога с человеком); д — типичный для человека сигнал (вне диалога). Видно, что в ходе «разговора» птицы и человека происходит взаимоподстройка, т.е. экспресс-имитация.

Мгновенные спектры фонемы «а» (гласной «я») из слова «бьяка», произнесенного владельцем майны и самой птицей (цветная кривая). Птица воспринимает слово как нечто целое и копирует не только основные форманты (Ф, Ф'), но и ложные (в, в'), относящиеся, видимо, к индивидуальным речевым характеристикам.

Треки трех формант в диалоге птица—человек (вверху) и вне диалога одинаковы (внизу). Формантные максимумы голоса человека и майны в диалоге совпадают на протяжении восьми периодов в отличие от трех формант, полученных при отдельной записи голоса птицы и человека, что подтверждает экспресс-имитацию.



сигналы можно редактировать, т.е. выбирать для анализа нужные участки.

Прибор оснащен уникальной системой сопоставления акустических сигналов. Спектрограммы сигналов (или их отрезки по желанию оператора) окрашиваются в разные цвета (красный и зеленый) и накладываются один на другой. Все результаты выражаются количественно и выводятся в виде графиков.

При сравнении формантных кривых голоса майны и голоса хозяина видно, что голос птицы подстраивается к голосу человека. Такое сходство между конфигурациями кривых дикторов не наблюдается. Птица имитирует дополнительные выступы речевого сигнала своего хозяина. Расположение и рисунок этих структур заметно различаются у разных людей и, видимо, относятся к индивидуальным характеристикам речи. Имитационные варианты (повторы) майны не идентичны, но на слух их различия гораздо менее заметны.

Таким образом, на основании наших исследований можно сказать,

что частотные сдвиги, т.е. смещения в определенных пределах формантных максимумов не влияют на распознавание фонем.

Ложные форманты, которые также не влияют на распознавание фонем, видимо, служат индивидуальной характеристикой голоса и произношения человека. Сходство между голосами человека и птицы достигается за счет копирования этих структур.

Использование значительно усовершенствованной программы «Matlab» (математическая лаборатория), разработанной группой математиков под руководством Вараксина, позволило анализировать спектры фонем синхронно с основным тоном речи. Кроме того, стало возможным построение треков фонем, отражающих движение формантных максимумов в зависимости от периода основного тона. Все эти усовершенствования обеспечили более тонкий структурный анализ фонем.

При подготовке матриц (т.е. делении осциллограммы на периоды основного тона) для программы Matlab выяснилось, что по форме периоды

основного тона человека и майны значительно отличаются между собой. У человека это обычно хорошо выделяющиеся участки осциллограммы с несколькими четкими повторами. У птицы периоды имеют часто неровную веретеновидную форму с нечеткими границами. Как у майны, так и у человека выделяются группы периодов внутри одного сигнала (фонемы), отличающиеся по форме, числу выступов, их наличием или отсутствием. В диалогах майны с диктором-женщиной мы обнаружили, что акустические характеристики выученного птицей слова приближаются к индивидуальным особенностям речи человека, впервые вступившего с ней в «разговор». Мы назвали это явление экспресс-имитацией. Аналогичные изменения наблюдались и при осциллографическом анализе слова «бьяка», произнесенного диктором. Периоды основного тона в

сигнале человека изменились и стали совершенно нетипичными. Так проявилась экспресс-имитация со стороны диктора. Таким образом, в ходе диалога человек—птица происходит взаимоимитация, при которой число периодов основного тона, характерное для обоих партнеров, изменяется.

Исследования имитационной активности птиц способствуют изучению и самой прототипной речевой коммуникации человека. Здесь очень важны сопоставительные, в частности фонемные исследования, позволяющие изучить акустико-фонетические структуры речевых звуков и понять, какие характеристики элементов или их сочетания лежат в основе распознавания фонем человеком и птицами, а также как удается птице адекватно воспринимать и воспроизводить человеческий сигнал.

НОВОСТИ НАУКИ

Зоология

Дальние коммуникации слонов

При Университете штата Калифорния, что в городке Девис, была создана группа во главе с Л.Харт (L.Hart), занимавшаяся изучением того, как распространяются звуки, издаваемые слонами (для «поощрения» в вольер слонов внезапно запускали шумных петухов). Результаты экспериментов, доложенные на конференции Американского акустического общества (декабрь 1997 г., Сан-Диего, Калифорния), немало изумили специалистов.

Слон, желая широко распространить информацию о каком-то важном для него событии, часто пользуется не только голосовыми связками, но и конечностями. Внезапно потревоженный светливой и крикливой птицей, он начинает определенным образом топтать ногами. Микрофоны, размещенные экспериментаторами на земле с целью записать крики животного на низких звуковых частотах, зафиксировали также мощные инфразвуковые сигналы от топота слонов, которые почти не воспринимаются человеческим ухом.

Специалисты установили, что звуки удара слоновых конечностей о почву могут воспринимать живот-

ные, находящиеся от него даже в 50 км, а это впятеро больше того расстояния, на котором они в состоянии расслышать характерный трубный крик.

Ранее уже отмечалось, что слоны способны к коммуникациям на очень больших дистанциях (например, если люди убивали слона, то другое стадо, находившееся в десятках километров, спешно покидало место, направляясь по-дальше от опасности). Но то, что считалось недостовверными «охотничьими рассказами», теперь подтверждено научными экспериментами.

New Scientist. 1997. V.156. № 2112. P.23. (Великобритания).

Предсказание и открытие гигантских вихрей в галактиках

А. М. Фридман, О. В. Хоружий

В первой части статьи речь шла об экспериментах на вращающейся «мелкой воде», благодаря которым были предсказаны новые структуры в спиральных галактиках — гигантские антициклоны. Там же приведен пример наблюдательного свидетельства существования этих структур в галактиках, имеющих скачки на кривой вращения. В данной части содержатся теоретические и наблюдательные результаты, доказывающие универсальность существования вихревых структур в спиральных галактиках независимо от вида кривой вращения.

ВИХРИ В СОЛНЕЧНОЙ ОКРЕСТНОСТИ ГАЛАКТИКИ

В первой части статьи упоминалось, что для выявления галактических антициклонов необходимо найти поле скоростей в системе координат, вращающейся вместе со спиральным узором. В случае эксперимента на установке «Спираль» скорость вращения спиральных рукавов могла быть непосредственно измерена. Для реальных же галактик ее определение — очень нелегкая задача. Дело в том, что характерные времена обращения галактических дисков составляют около 100 млн лет, поэтому за любое разумное время наблюдения невозможно зафиксировать величину смещения спиральных рукавов из-за их вращения.

Задача определения скорости вращения спирального узора эквивалентна нахождению радиуса коротации, т.е. расстояния от центра, где угловые скорости вращения звезд и

спиралей равны. Если спиральная волна образуется в результате неустойчивости, вызванной скачком скорости, ее радиус коротации совпадает с положением скачка²⁵. Наличие в галактике Mrk 1040 аномально резкого скачка на кривой вращения и заведомого выполнения условий гидродинамической неустойчивости снимало вопрос о положении радиуса коротации в этой галактике и облегчало выявление в ней гигантских антициклонов. Для большинства же внешних галактик этот вопрос остается открытым. Неудивительно, что следующей в списке кандидатов на обнаружение вихревых структур стала наша Галактика: ведь для нее вопрос о положении радиуса коротации наиболее изучен.

Для определения радиуса коротации в этом случае используются данные о так называемом градиенте возраста звезд. Возраст оценивается по теории ядерного горения и цвету каждой звезды. Звездообразование происходит главным образом в спиральных рукавах, в связи с чем там наблюдается повышенная концентрация молодых, только что родившихся звезд. Поскольку угловая скорость вращения газового диска вокруг центра галактики падает с увеличением расстояния до центра, а спиральный узор вращается как единое целое с постоянной угловой скоростью, область диска внутри коротационной окружности обгоняет спиральные рукава, а вне ее — отстает от них. Звезды обладают «памятью» о газовом диске, из которого они образовались. Вследствие этого при расстоянии от центра

галактики, меньшем радиуса коротации, звезды движутся быстрее, чем спиральные рукава, а при большем — медленнее. Таким образом, по мере старения звезды все дальше от спиральных рукавов, причем они перемещаются в противоположных направлениях по разные стороны от коротационной окружности. В результате противоположным должно быть и направление градиента возраста звезд (рис.14).

Такая особенность градиента возраста была обнаружена в галактической окрестности Солнца²⁶, что указывает на положение радиуса коротации недалеко от орбиты Солнца вокруг центра Галактики. Недавние исследования поля лучевых скоростей цефеид в солнечной окрестности также показали, что в этой области азимутальная скорость спирального узора в Галактике совпадает со скоростью вращения диска²⁷. Таким образом, разные исследователи приходят к единому выводу о том, что Солнце находится вблизи от радиуса коротации.

Помимо этого наблюдаемая кривая вращения газового диска нашей Галактики имеет депрессию как раз в окрестности солнечной орбиты. На основании этих двух фактов один из авторов статьи (А.Ф.) высказал предположение, что в окрестности галактической орбиты Солнца должны находиться центры гигантских антициклонов. Гипотеза была проверена на основании данных о лучевых скоростях 316 молекулярных облаков, 256 классических цефеид и 106 молодых открытых скоплений (рис.15).

На рис.16 изображена кривая вращения, полученная в модели чисто кругового движения²⁸. Более детальные исследования показали, что отклонения скоростей от модели чисто кругового



Рис.14. Градиент возраста звезд в окрестности коротационной окружности. Цветной линией показано место повышенной концентрации молодых звезд, совпадающее с наблюдаемой локализацией спирального рукава. Более старые звезды сместились к настоящему моменту от рукава к штриховой линии. Их треки обозначены цветными стрелками, длина и направление которых определяются скоростью вращения диска в системе отсчета, связанной со спиральным рукавом. Большой стрелкой показано направление вращения Галактики в лабораторной системе координат. Внутри коротационной окружности диск вращается быстрее спирального рукава, поэтому направление цветных стрелок совпадает с направлением большой стрелки. Вне коротационной окружности направление стрелок противоположное. Направление градиента возраста звезд совпадает с направлением цветных стрелок. Таким образом, радиус, на котором градиент возраста меняет направление, соответствует радиусу коротации.

движения имеют систематический характер и коррелируют с наблюдаемыми спиральными структурами.

На рис.17 представлено модельное поле скоростей в системе отсчета, вращающейся с угловой скоростью, равной средней угловой скорости вращения звезд вблизи Солнца²⁹. Это поле скоростей имеет форму антициклона, центр которого лежит в солнечной окрестности.

Локализация Солнца в окрестности антициклона примечательна, если иметь в виду особенность последнего

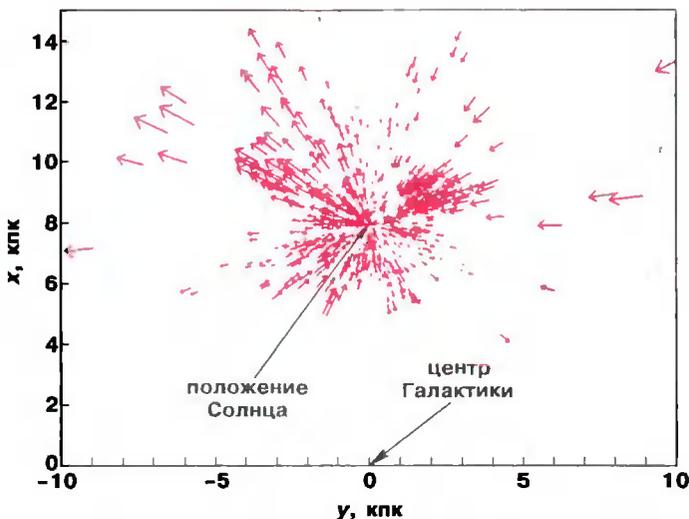
²⁶ Ефремов Ю.Н. // Письма в «Астрон. журн.». 1983. Т.9. С.94; Аведисова В.С. // Астрофизика. 1989. Т.30. С.140–150.

²⁷ Mishurov Yu.N. et al. // Astronomy and Astrophysics. 1997. V.323. P.775.

²⁸ Fridman A.M., Khoruzhii O.V., Lyakhovich V.V., Avedisova V.S. // Unsolved Problems of the Milky Way / Eds. L.Blitz, P.Teuben. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996. P.597.

²⁹ Fridman A.M. et al. // Astrophysics and Space Science. 1997. V.252. P.115.

Рис.15. Поле радиальных (по лучу зрения) скоростей, полученное на основании наблюдательных данных для звезд и газа; координаты Солнца: (0, 8).



захватывать «частицы». Центры антициклонов — это галактические устойчивые точки либрации, своего рода «отстойники», где результирующая сила в сопутствующей системе отсчета равна нулю. Аналогичные точки (устойчивые точки Лагранжа) хорошо известны в Солнечной системе: в системе Земля—Луна в них находятся облака Кардэльевского, а в устойчивых точках Лагранжа системы Солнце—Юпитер сосредоточено множество астероидов, первым из которых были присвоены имена героев Троянской войны, поэтому все они называются троянцами.

Если гигантские антициклоны расположены между спиральными рукавами, пойманные ими «частицы» двигаются, не пересекая области спиральных рукавов. В последних из-за повышенной плотности происходят бурные процессы звездообразования, порождающие мощное излучение³⁰. Такое излучение могло бы оказаться губительным для нашей земной жизни: атмосфера Земли вряд ли смогла бы защитить живые организмы от подобных космических катаклизмов³¹. Таким образом, возможно, что положение

Солнца в достаточно спокойном месте Галактики — вблизи центра антициклона, между спиральными рукавами, — играет немаловажную роль для стабильности жизни на Земле.

СПИРАЛЬНО-ВИХРЕВАЯ СТРУКТУРА В ГАЛАКТИКАХ

Обнаружение предсказанных ранее антициклонов в газовом диске Mrk 1040 и в солнечной окрестности

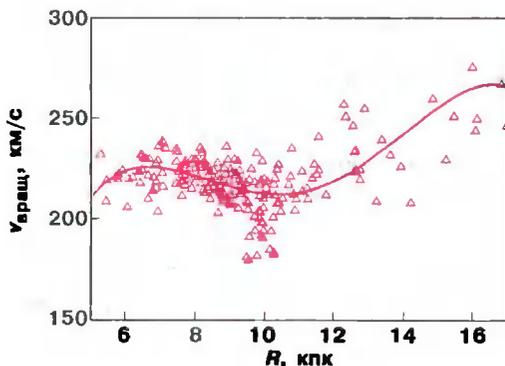


Рис.16. Зависимость круговой скорости вращения от галактоцентрического радиуса R . Треугольники — данные наблюдений, сплошная линия — усредненная кривая вращения. Вблизи радиуса Солнца (в данной работе его положили равным 8.5 кпк) существует скачок скорости.

³⁰ Ефремов Ю.Н., Засов А.В., Чернин А.Д. Звездные комплексы и спиральные рукава // Природа. 1998. № 3. С.8.
³¹ Марочник Л.С., Мухин Л.М. Галактический «пояс жизни» // Природа. 1983. № 11. С.52.

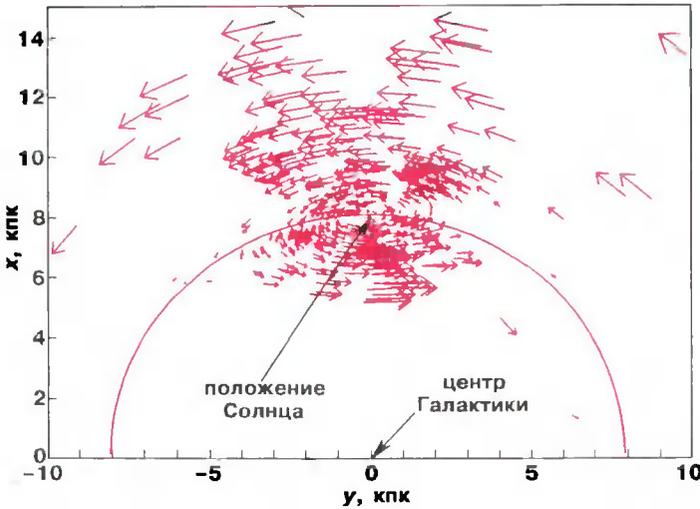


Рис.17. Модельное поле скоростей, полученное по движению звезд и газа.

нашей Галактики было вполне закономерным. В обоих случаях наблюдаемая кривая вращения газового диска имеет область резкого падения (депрессии) на некотором радиусе. Присутствие такой области указывает либо на наличие скачка на реальной кривой вращения, что может приводить к развитию гидродинамической неустойчивости, либо на существование заметных локальных отклонений от кругового движения. Именно первый случай моделировался экспериментально на установке «Спираль», где впервые были обнаружены вихревые структуры.

Однако, как указывалось выше, галактика M1040 демонстрирует аномально большой скачок скорости, а в случае нашей галактики скудость статистических данных приводит к величине ошибок, не позволяющей ссылаться на существование здесь антициклона как на строго доказанный факт. В таком случае обнаруженные антициклоны могли бы считаться некими особыми структурами, присущими лишь некоторым специфическим галактикам с резкими скачками скорости вращения и не являющимися непременным атрибутом любой спиральной галактики с волновой природой спирали.

Простое качественное рассуждение показывает, что это не так, и газовые вихри — неотъемлемая при-

надлежность спиральных волн плотности вне зависимости от природы действующих в диске сил: самогравитации, гидродинамических либо приливных, вызванных, например, баром или спутником галактики³².

Предположим, что в результате какого-либо коллективного механизма (неустойчивости) в диске галактики возникают возмущения скоростей и плотности. Пока амплитуды возмущений малы, их рост описывается линейной теорией неустойчивости. Тогда все возмущенные величины можно легко выразить через одну, т.е. они пропорциональны друг другу. При этом поле возмущенных скоростей диска устроено так, что, перенося часть вещества из одних областей диска в другие, оно создает в одних местах сгущения в виде спиральных рукавов, а в других — спиральные области пониженной плотности.

В результате дальнейшего роста амплитуды возмущенных величин плотность газа в спиральных рукавах может вырасти в несколько раз, сформировав нелинейную волну плотности, которую мы видим как спиральный рукав. Однако из наблюдений следует, что величины

³² Более строгое, математическое доказательство этого факта см. в работе: Ляхович В.В., Фридман А.М., Хоружий О.В. // Астрон. журн. 1996. Т.73. С.24—35.

возмущенных скоростей в обоих дисках — газовом и звездном — оказываются значительно меньше скорости вращения. Рост возмущений приводит к стабилизации неустойчивости, и спиральная волна становится квазистационарной. Особенности поля скоростей, вызванные такой волной, удобнее всего исследовать в системе отсчета, вращающейся с угловой скоростью спирального узора $\Omega_{\text{фаз}}$ (рис.18). Эта вращающаяся система координат замечательна прежде всего тем, что в ней спиральные рукава оказываются неподвижными, т.е. возмущенная поверхностная плотность диска $\tilde{\sigma}$ и связанные с ней линейными соотношениями компоненты возмущенной скорости могут быть записаны как функции, не зависящие от времени:

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma}(R, \varphi) &= C_{\sigma}(R)\cos(2\varphi - F_{\sigma}(R)), \quad (5) \\ \tilde{V}_r(R, \varphi) &= C_r(R)\cos(2\varphi - F_r(R)), \end{aligned}$$

где R — галактоцентрический радиус, φ — азимутальный угол, отсчитываемый от большой динамической оси галактики (см. рис.11), C_{σ} , C_r — амплитуды, а F_{σ} , F_r — фазы. Для определенности мы ограничились случаем двухрукавной галактики.

Поскольку диск галактики вращается дифференциально, его внутренняя часть (до радиуса коротации) будет вращаться быстрее, чем спиральный узор, а внешняя, наоборот, — медленнее (рис.18). Наблюдатель, находящийся на радиусе коротации $R_{\text{кор}}$, будет видеть, что угловые скорости диска по обе стороны от окружности коротации направлены в противоположные стороны. В соответствии с выражением (5) при каждом значении радиуса возмущенная поверхностная плотность $\tilde{\sigma}(\varphi)$ и соответственно радиальная скорость четырежды (удвоенное число спиральных ветвей) меняют свой знак с изменением азимутального угла. В результате в области коротации, где величина полной азимутальной скорости невелика, возникают замкнутые линии тока — вихри (рис.19). Поскольку газ в них движется в направлении, противоположном направлению вращения диска, они являются антициклонами (рис.20).

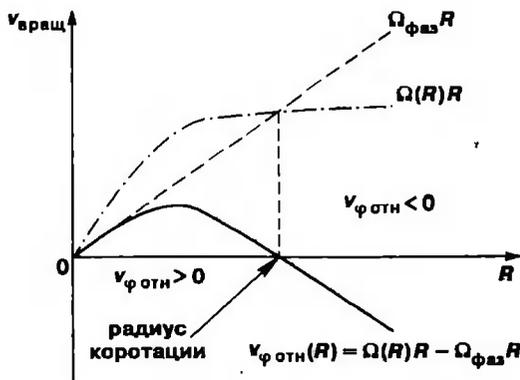


Рис.18. Переход из инерциальной системы координат в неинерциальную, вращающуюся с угловой скоростью спирального узора $\Omega_{\text{фаз}}$. Штрих-пунктирная линия обозначает невозмущенную азимутальную скорость $\Omega(R)R$ в диске галактики в системе центра масс, непрерывная — азимутальную скорость $v_{\text{фотн}}$ в системе координат, вращающейся вместе со спиралью. На радиусе коротации $v_{\text{фотн}}$ обращается в нуль.

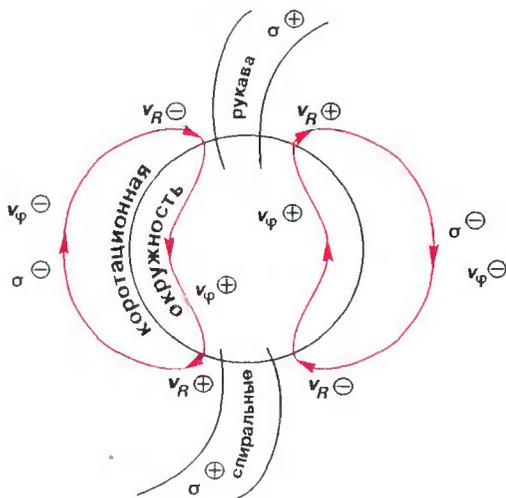


Рис.19. Схематичное представление расположения двух антициклонов вблизи радиуса коротации в системе координат, вращающейся с угловой скоростью двухрукавного спирального узора. Символы $\leftrightarrow+$ и $\leftrightarrow-$ указывают знак соответствующего параметра в данной области диска.

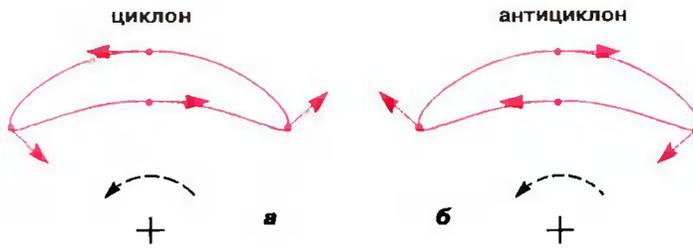


Рис.20. Непрерывные линии обозначают траектории частиц, стрелки указывают направление их движения в циклоне (а) и антициклоне (б); штриховая линия со стрелкой показывает направление вращения в галактике. Знак «+» поставлен в центре вращения.

Следует подчеркнуть, что эти антициклоны нельзя рассматривать как математическую особенность принятой модели вращения, в которой положение замкнутых траекторий полностью определяется заданием угловой скорости системы отсчета. Только в области действительной коротации межзвездный газ в своем движении не пересекает спиральных ветвей, поэтому потоки газа (при условии малой дисперсии скоростей по сравнению со скоростью вращения) вынуждены там постоянно двигаться либо в окрестнос-

ти определенной спиральной ветви, либо между ветвями. Наличие вихревых движений в области коротации — это физическая особенность галактик.

Таким образом, во всем диске малые возмущенные скорости выполняют свою роль, собирая вещество в ярко светящиеся рукава, но сами никак не проявляются, будучи «задавленными» большой круговой скоростью диска. Только на радиусе коротации, где круговая скорость газа относительно спирали становится малой, возмущенные скорости проявляются в виде

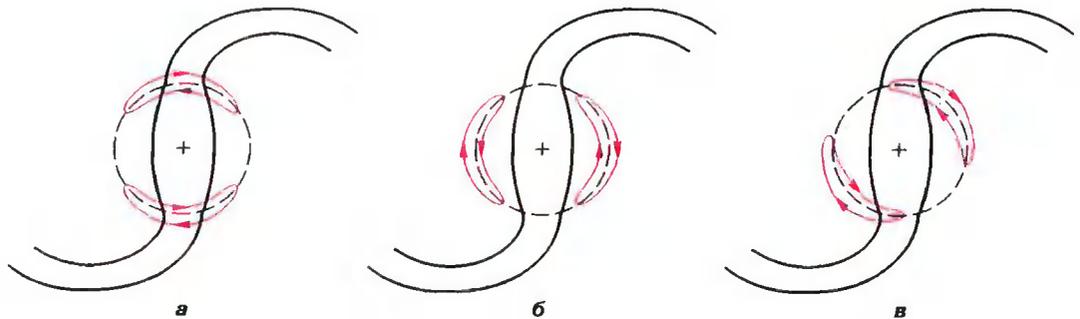


Рис.21. Схематическая картина расположения вихрей относительно спиральных рукавов в двухрукавной волне плотности: а — вихри на спиралях, б — между ними, в — промежуточное положение вихрей. Если момент вращения диска в области коротации растет с радиусом, то случай «а» соответствует преобладанию сил давления, «б» — сил самогравитации, а случай «в» реализуется, если в области коротации существенную роль играют приливные силы. Цветные линии со стрелками показывают движение частиц в вихрях, утолщенные сплошные линии — линии одинаковой поверхностной плотности в спиральных рукавах.

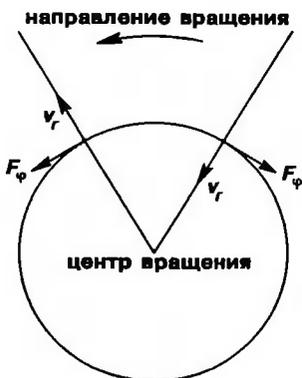


Рис.22. Направление азимутальных сил, действующих на частицу в вихре в случае роста удельного углового момента диска с радиусом. Если радиальная скорость v_r направлена к центру, азимутальная сила F_ϕ должна «притормаживать» частицу, т.е. противоположна направлению вращения. Если же радиальная скорость направлена от центра, азимутальная сила должна «подкручивать» частицы.

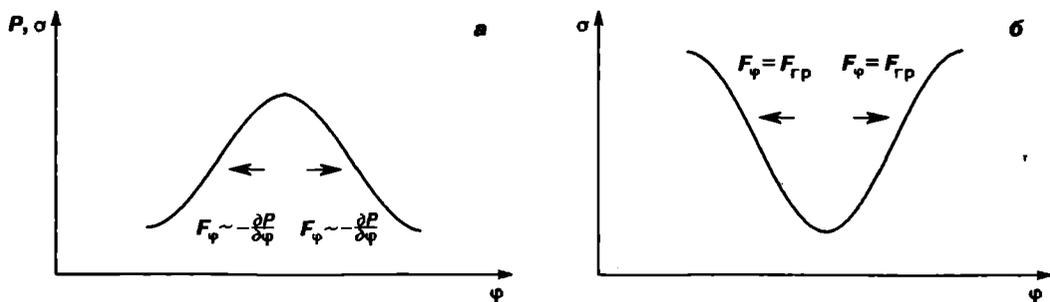


Рис.23. Азимутальные силы направлены от центра вихря. Если в диске преобладают силы гидродинамического давления, то центр вихря находится в максимуме давления и поверхностной плотности диска (а); если же в диске преобладают силы самогравитации, то центр вихря располагается в минимуме поверхностной плотности (б). F_{ϕ} — гравитационная сила.

гигантских антициклонов. Это наглядно демонстрирует, что спирали и вихри суть разные проявления единого коллективного механизма, название которого — волны плотности.

Описанная выше качественная картина формирования антициклонов в дисках галактик основана только на одном предположении — волновой природы спиральной структуры. Поэтому вихревые структуры должны быть универсальным атрибутом спиральных галактик вне зависимости от состава диска (газ или звезды) и механизма генерации волны плотности.

ПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРОВ СТАЦИОНАРНЫХ ВИХРЕЙ

Итак, мы показали, что гигантские антициклонические вихри — полноправная составляющая крупномасштабной структуры спиральных галактик. Однако интерес к галактическим вихрям вызван не только фактом их существования, но и той уникальной информацией, которую можно получить из анализа этих структур. Замечательное свойство гигантских антициклонов — зависимость положения их центров (относительно спиральных рукавов) от механизма образования волновых структур (рис.21).

Причину такой зависимости легко понять уже из общих соображений. Действительно, существование стационарных некруговых движений требует определенного баланса сил. На распределение последних в свою очередь оказывает существенное влияние распределение плотности — спиральный узор и то, какие силы — самогравитации или давления, — преобладают.

Чтобы понять общие закономерности, задающие азимутальное положение вихрей относительно спиральных рукавов, рассмотрим участки, где газ движется строго радиально (рис.22). Распределение удельного (на единицу массы) углового момента, определяемого в нулевом приближении скоростью вращения диска ($M = \Omega R^2$), неоднородно по радиусу. В результате переход газовой частицы на другой радиус требует изменения ее момента, т.е. азимутальные силы, действующие на частицу, должны ее «подкручивать» или наоборот «притормаживать» в зависимости от того, движется она в сторону увеличения или уменьшения момента вращения диска. На рисунке показано направление сил, действующих на частицу для случая, когда момент вращения растет с радиусом.

Азимутальная сила F_{ϕ} , действующая на частицу газа, определяется угловыми составляющими градиентов давления \vec{P} и гравитационного потенциала Φ , вызванных волной плотности, а также, возможно, внешней приливной силой $F_{\text{внеш}}$, действующей на газ при наличии у галактики спутника или сильного бара.

Следовательно, если преобладаю-

Таблица

Расположение центра вихря относительно спиральных рукавов в зависимости от направления роста удельного углового момента диска dM/dR и от преобладающих сил

Доминирующая сила	Местоположение центра вихря	
	$dM/dR > 0$	$dM/dR < 0$
Градиент давления	на спирали	между спиралями
Самогравитация	между спиралями	на спирали
Внешняя гравитационная	может быть смещено относительно экстремума плотности	

щими являются силы давления, баланс сил, необходимый для стационарного существования антициклонического вихря, будет достигаться при расположении его центра в максимуме возмущенного давления (рис.23,а). Поскольку положение максимума давления в спиральной волне совпадает с положением максимума плотности, это означает расположение вихря на спиральном рукаве (см. рис.21,а). Та же закономерность хорошо известна в метеорологии: с антициклонами в земной атмосфере связаны области повышенного давления, а с циклонами — пониженного.

Если плотность газа в некотором участке диска возрастет, его остальные области будут испытывать дополнительное гравитационное притяжение к указанному участку, т.е. возмущенная гравитационная сила будет направлена в сторону увеличения плотности (рис.23,б). Следовательно, в случае гравитационной природы спиральной волны и преобладании сил самогравитации в коротационной области центры антициклонов должны располагаться в минимуме плотности, т.е. между спиральными рукавами (см. рис.21,б). Если же в области коротации существенное влияние оказывают внешние приливные силы, центры антициклонов не совпадают ни с максимумом, ни с минимумом плотности (см. рис.21,в).

При убывании удельного момента вращения в области коротации с увеличением радиуса (это возможно при очень резком падении угловой скорости вращения) направление азимутальной силы, необходимой для стационарного

существования антициклона, меняется на противоположное по сравнению с изображенным на рис.22. Соответственно обратным будет и расположение центров вихрей относительно спиральных рукавов (см. таблицу).

Имеющиеся к настоящему времени сведения о закономерностях проявления галактических антициклонов полностью согласуются с результатами приведенного выше анализа. Лабораторное моделирование на мелкой воде³³ проводилось для случая, когда в области радиуса коротации происходило резкое падение скорости вращения, что соответствует случаю убывающего с радиусом углового момента $dM/dR < 0$. Поэтому вихревые структуры наблюдались между спиралями. Численное моделирование³⁴ показало, что и в газовых галактических дисках с кривыми вращения, имеющими резкий скачок угловой скорости, вихревые структуры находятся между спиральными рукавами плотности. Как отмечалось выше, именно между спиралями были обнаружены антициклоны в галактике Mrk 1040. Проведено численное моделирование гидродинамической неустойчивости³⁵, приводящей к генерации спиральных волн в дисках с достаточно плавными кривыми вращения, для случая $dM/dR > 0$. Вихревые структуры возбуждались одновременно со спиральными рукавами и располагались на них.

³³ См. сноску 8.

³⁴ См. сноску 3.

³⁵ Ляхович В.В., Фридман А.М., Хоружий О.В. // Неустойчивые процессы во Вселенной / Под ред. А.Г.Масевич. М., 1994. С.194—229.

Задача о замкнутых бананоподобных траекториях звезд в гравитационном поле спиральной волны, соответствующих вихревым структурам в звездном диске, была рассмотрена Г.Контупулосом³⁶. Согласно его работе, при малых амплитудах спирального гравитационного потенциала в дисках, момент которых растет с радиусом, вихревые структуры должны находиться между спиральями. Таким образом, положение вихрей в звездных и газовых самогравитирующих дисках совпадает (см. таблицу).

Естественно, может возникнуть такой вопрос. Если вихревые структуры существуют во всех галактиках, где имеются спиральные волны плотности, и их обнаружение дает столь ценную информацию о динамических свойствах галактики, почему мы можем назвать лишь один-два объекта, где указание на существование таких структур следует из наблюдений? Причина — в несоизмеримости усилий обнаружения вихревых структур по сравнению со спиральными. В первом случае требуется решить целый комплекс задач как чисто наблюдательных, так и связанных с методами обработки полученных данных. В частности, необходимо определить такой важный фундаментальный параметр, как радиус коротации спирального узора.

Если спиральная структура обязана своим появлением гидродинамической неустойчивости на скачке скорости, то положение радиуса коротации совпадает с положением скачка. Однако, если кривая вращения галактики достаточно гладкая, радиус коротации не удастся найти независимо. Было показано³⁷, что в последнем случае для его определения и обнаружения гигантских антициклонов требуется восстановить поле полного (трехкомпонентного) вектора скорости в газовом диске галактики.

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ТРИ КОМПОНЕНТЫ СКОРОСТИ ИЗ ОДНОЙ НАБЛЮДАЕМОЙ?

Проблема восстановления полного вектора скорости связана с тем, что в астрономии для далеких объектов определяют скорость только по доплеровскому смещению в наблюдаемых спектральных линиях. Таким образом можно узнать только одну компоненту скорости — вдоль луча зрения. Для восстановления всех трех компонент скорости нужна модель.

Типичные поля лучевых скоростей газа для двух спиральных галактик показаны на рис.24, на рис.25 даны их карты яркости.

Существенный прогресс в наблюдении полей лучевых скоростей газовых дисков внешних галактик был достигнут за последние 10 лет. В настоящее время удается одновременно в 10^4 — 10^5 и даже более точках диска найти скорости вдоль луча зрения с точностью ~ 5 км/с для ионизованного газа и ~ 2 км/с — для нейтрального. Исследования полей скоростей спиральных галактик показали, что возмущенные скорости в спиральных рукавах значительно меньше круговых. Это позволяет успешно применять для анализа линейные или квазилинейные теории.

В соответствии с линейной теорией в дисках галактик должны возникать волны плотности с фиксированным значением азимутального числа m . При этом можно показать, что все три компоненты скорости в плоском диске должны давать вклад в разные фурье-гармоники наблюдаемой лучевой скорости. Основная идея восстановления поля полного вектора скорости очень проста: определить из наблюдений коэффициенты Фурье поля лучевой скорости и, используя простейшие алгебраические соотношения, найти все три компоненты скорости газа в галактике. В рамках той же теории можно показать, что фазовые соотношения между различными компонентами скорости скачком меняют свой характер в области коротации. Поэтому

³⁶ Contopoulos G. // *Astronomy and Astrophysics*. 1978. V.64. P.323.

³⁷ Ляхович В.В., Фридман А.М., Хоружий О.В., Павлов А.И. // *Астрон. журн.* 1997. Т.74. С.509.

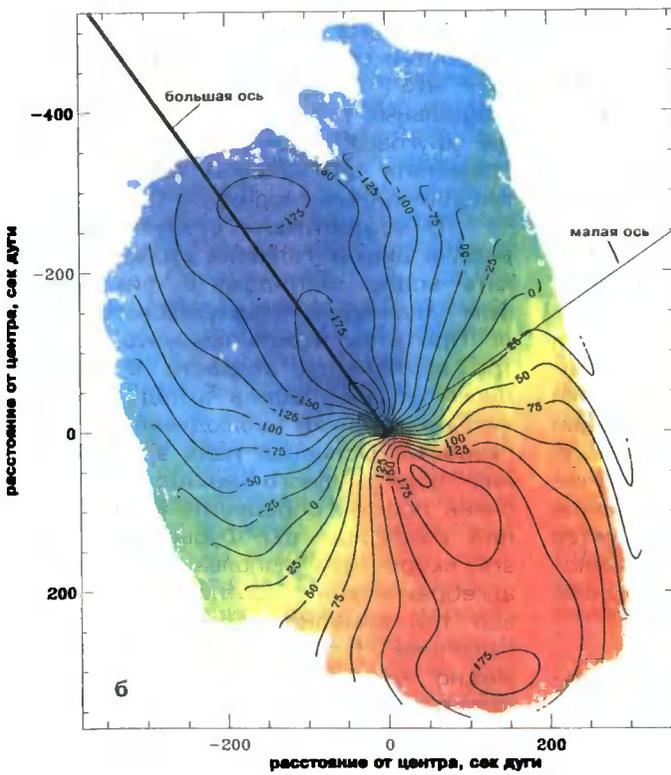
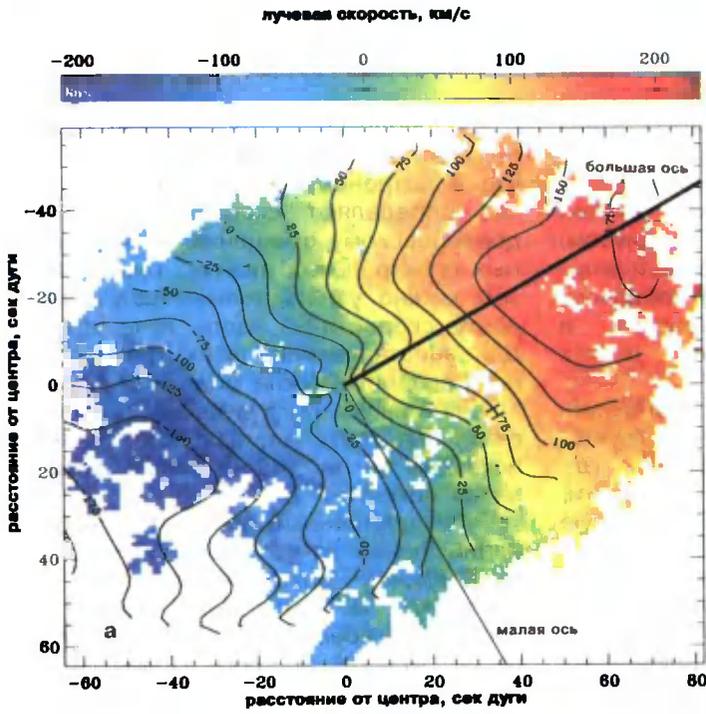


Рис.24. а — поля скоростей галактики NGC 157 (а) и NGC 1365 (б), полученные по доплеровским смещениям соответственно в линии $H\alpha$ и линии нейтрального водорода 21 см. Числами отмечены соответствующие изолинии лучевой скорости.

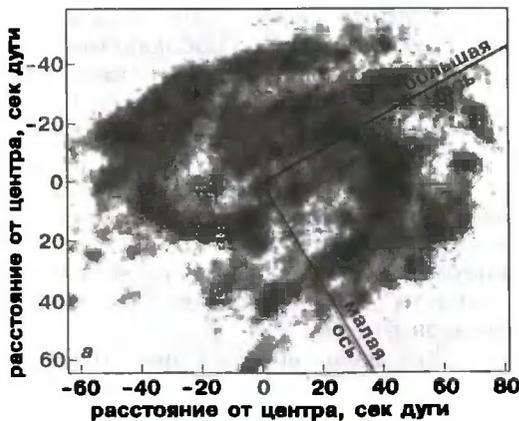
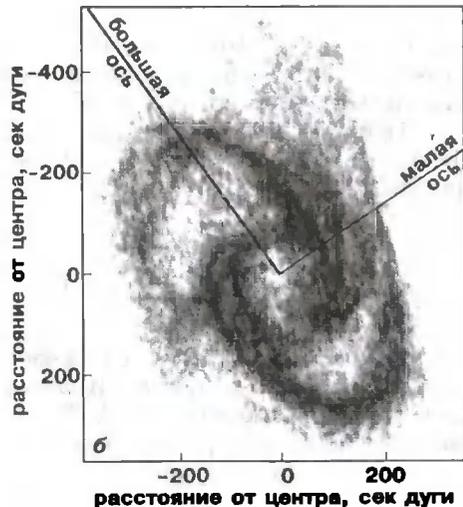


Рис.25. Изображения галактик: NGC 157 в линии H_{α} (а) и NGC 1365 в линии 21 см (б).



му восстановление всех трех компонент скорости автоматически решает проблему определения радиуса коротации спирального узора. Рассмотрим этот вопрос более детально.

Пусть угол наклона между картинной плоскостью и плоскостью галактики равен i (см. рис.11). Положение точки C в галактике задается ее расстоянием R до центра галактики и углом φ между наибольшей осью и линией, соединяющей центр галактики и точку C . Наблюдатель видит только лучевую скорость точки C , т.е. только ее компоненту вдоль оси z' . В простейшем случае, когда угол наклона галактики равен $i = \pi/2$ (рис.26), вклад в лучевую скорость азимутальной компоненты равен $(v_{\varphi})_{z'} = v_{\varphi} \cos \varphi$, а радиальной $(v_r)_{z'} = v_r \sin \varphi$. Вклад в лучевую скорость также должна давать систематическая скорость галактики вдоль луча зрения v_s . Вертикальная (перпендикулярная к плоскости галактики) компонента скорости v_z при $i = \pi/2$ вклада в лучевую скорость не дает. Тогда лучевую скорость при $i = \pi/2$ можно записать следующим образом:

$$v_{\text{набл}} = v_s + v_{\varphi} \cos \varphi + v_r \sin \varphi.$$

В случае произвольного угла наклона галактики имеем

$$v_{\text{набл}} = v_s + (v_r \sin \varphi + v_{\varphi} \cos \varphi) \sin i + v_z \cos i. \quad (6)$$

В волне плотности, имеющей определенное значение азимутального числа, возмущенную плотность $\tilde{\sigma}$ и возмущенные скорости $\tilde{v}_r, \tilde{v}_{\varphi}, \tilde{v}_z$ можно представить в виде

$$\tilde{\sigma}(R, \varphi) = C_{\sigma}(R) \cos[m\varphi - F_{\sigma}(R)], \quad (7)$$

$$\tilde{v}_r(R, \varphi) = C_r(R) \cos[m\varphi - F_r(R)], \quad (8)$$

$$\tilde{v}_{\varphi}(R, \varphi) = C_{\varphi}(R) \cos[m\varphi - F_{\varphi}(R)], \quad (9)$$

наблюдатель

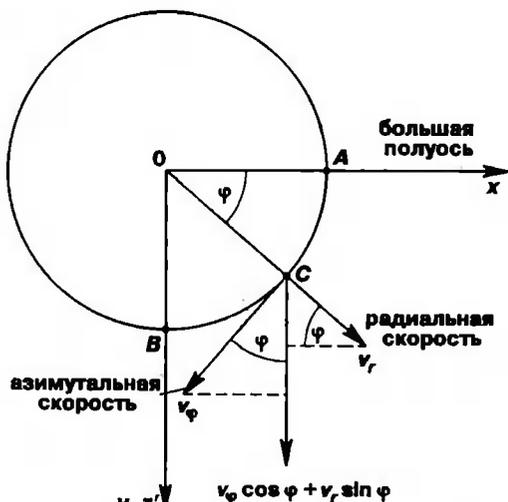


Рис.26. Случай наблюдения галактики с ребра (угол наклона галактики равен $\pi/2$).

$$\tilde{v}_z(R, \varphi) = C_z(R)\cos[m\varphi - F_z(R)], \quad (10)$$

где C_i и F_i — амплитуда и фаза i -й функции, m — азимутальное число, равное числу рукавов галактики.

Представляя теперь скорости в диске галактики как сумму чисто кругового и возмущенного движений

$$\begin{aligned} v_r(R, \varphi) &= \tilde{v}_r(R, \varphi), \\ v_\varphi(R, \varphi) &= v_{\text{вращ}}(R) + \tilde{v}_\varphi(R, \varphi), \\ v_z(R, \varphi) &= \tilde{v}_z(R, \varphi) \end{aligned} \quad (11)$$

и подставляя полные скорости в формулу для $v_{\text{набл}}$, получим разложение наблюдаемой скорости в ряд Фурье по азимутальному углу φ . Оно будет состоять из восьми членов, описывающих нулевую гармонику, пропорциональную v_s , первую четную гармонику, пропорциональную $v_{\text{вращ}}$, а также четные и нечетные $(m-1)$ -ю, m -ю и $(m+1)$ -ю гармоники. Соответствующие коэффициенты Фурье имеют вид

$$a_{m-1} = \sin i (C_\varphi \cos F_\varphi + C_r \sin F_r)/2, \quad (12)$$

$$b_{m-1} = \sin i (C_\varphi \sin F_\varphi - C_r \cos F_r)/2, \quad (13)$$

$$a_{m+1} = \sin i (C_\varphi \cos F_\varphi - C_r \sin F_r)/2, \quad (14)$$

$$b_{m+1} = \sin i (C_\varphi \sin F_\varphi + C_r \cos F_r)/2, \quad (15)$$

$$a_m = C_z \cos F_z \cos i, \quad (16)$$

$$b_m = C_z \sin F_z \cos i. \quad (17)$$

Остальные коэффициенты разложения $v_{\text{набл}}$ в ряд Фурье равны нулю.

Из приведенных соотношений следует, что вклады различных составляющих скорости газа в галактике в азимутальные фурье-гармоники наблюдаемой лучевой скорости распределены следующим образом:

— систематическая скорость галактики дает вклад в нулевую гармонику наблюдаемой скорости;

— скорость чисто кругового движения — в коэффициент при косинусе первой гармоники наблюдаемой скорости;

— радиальные и азимутальные компоненты скорости вносят вклад в гармоники $(m-1)$ и $(m+1)$ наблюдаемой скорости;

— вертикальная скорость дает вклад в m -ю гармонику наблюдаемой скорости.

Таким образом, если галактика имеет m спиральных рукавов, то в наблюдаемом по лучу зрения поле скоростей кроме нулевой и первой гармоники должны присутствовать гармоники $(m-1)$, m и $(m+1)$.

Система уравнений (12)–(17) позволяет сразу решить задачу по восстановлению трех компонент скорости из наблюдаемого поля лучевой скорости для галактик с числом рукавов $m \geq 3$.

Как легко видеть, здесь отличными от нуля являются восемь коэффициентов ряда Фурье, которых оказывается достаточно для определения восьми неизвестных функций: v_s , $v_{\text{вращ}}$, C_r , C_φ , C_z , F_r , F_φ , F_z . В случае двухрукавной галактики для тех же восьми неизвестных функций имеется только семь соотношений, задаваемых коэффициентами ряда Фурье: a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 . Требуется еще одно уравнение, связывающее между собой неизвестные функции.

Было предложено четыре независимых друг от друга способа восстановления трех компонент скорости. В первых двух использованы соотношения между фазами неизвестных функций, получаемые из уравнений гидродинамики лишь при одном предположении: возмущение имеет вид волны с азимутальным числом $m=2$. Первый способ основан на том, что для сравнительно плавных кривых вращения ($\kappa^2 \equiv 2\Omega(2\Omega + R d\Omega/dR) > 0$) между фазами радиальной и азимутальной скоростей должны выполняться соотношения (до и после радиуса коротации $R_{\text{кор}}$)

$$\begin{aligned} F_\varphi - F_r &= -\pi/2 \text{ при } R < R_{\text{кор}}, \\ F_\varphi - F_r &= +\pi/2 \text{ при } R > R_{\text{кор}}. \end{aligned} \quad (18)$$

Для резко изменяющейся кривой вращения ($\kappa^2 < 0$) соотношения обратные:

$$\begin{aligned} F_\varphi - F_r &= +\pi/2 \text{ при } R < R_{\text{кор}}, \\ F_\varphi - F_r &= -\pi/2 \text{ при } R > R_{\text{кор}}. \end{aligned} \quad (19)$$

Во втором способе используется связь между фазами радиальной скорости и возмущенной поверхностной

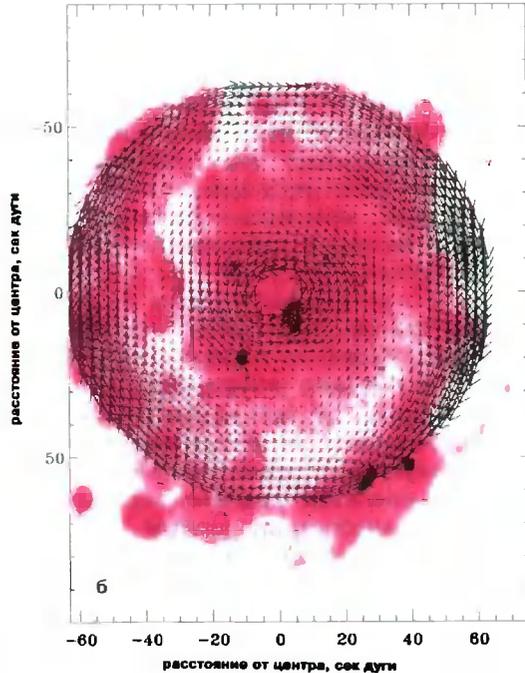
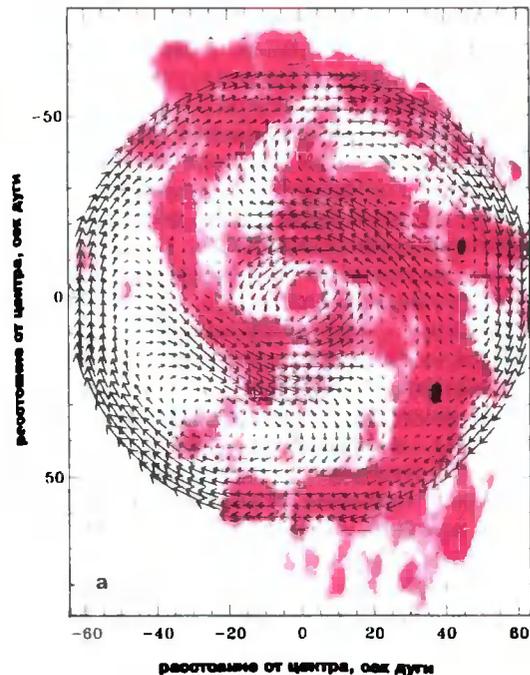


Рис.27. Поле скоростей газа в плоскости диска галактики NGC 157 (а) и NGC 3893 (б), наложенное на изображение галактики (показано цветом) в линии H_{α} .

плотности, справедливая для туго закрученных спиралей:

$$\begin{aligned} F_r - F_{\sigma} &= \pi & \text{при } R < R_{\text{кор}}, \\ F_r - F_{\sigma} &= 0 & \text{при } R > R_{\text{кор}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Именно указанные выше скачки разностей фаз позволяют определить радиус коротации спиральной структуры непосредственно из наблюдений поля лучевой скорости.

Третий способ предполагает плавное поведение амплитуд возмущенных скоростей. Четвертый заключается в использовании кривой вращения, получаемой из распределения масс в галактике.

Остается единственный вопрос: дадут ли различные, независимые друг от друга способы один и тот же результат для реальных галактик?

ОБНАРУЖЕНИЕ АНТИЦИКЛОНОВ В СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИКАХ

К настоящему времени проведена обработка полей лучевой скорости и восстановлен полный вектор скорости для примерно десяти спиральных галактик (NGC 157, NGC 6148, NGC 1365, NGC 3893 и др.³⁸). Во всех случаях независимые способы дали согласующиеся друг с другом результаты, что позволило выйти на новый уровень доказательности полученных результатов. В астрономии нельзя «потрогать» изучаемые объекты или поставить на них эксперименты, как в физике. Совпадение результатов двух независимых способов анализа наблюдательных данных может служить доказательством корректности используемой модели. В данном случае имеет место согласие предсказаний четырех независимых способов.

При использовании поля скоростей, содержащего более 10 000 точек, и ошибке определения одной скорости ~15 км/с удалось детектировать амплитуды скоростей в спиральных рукавах — 20—30 км/с с точностью 2—5 км/с.

³⁸ Fridman A.M. et al. // Monthly Notices of Royal Academy of Science. (In press.)

Восстановление скоростей позволяет решить сразу две классические задачи: определить радиус коротации и дать прямое доказательство волновой природы наблюдаемых спиральных рукавов. Благодаря этому методу получено решение и ряда новых задач, важнейшая из них — обнаружение новых структур в галактиках — гигантских антициклонов.

На рис.27 для двух галактик (NGC 157 и NGC 3893) приведены поля скоростей в плоскости газового диска в системе координат, вращающейся с угловой скоростью спирального узора, наложенные на изображения соответствующих галактик. Если сам спиральный узор является стационарным или квазистационарным, то данное поле скоростей также будет стационарным или достаточно медленно изменяющимся со временем. Как можно видеть (см. рисунок), вблизи радиуса коротации наблюдаются два хорошо выраженных антициклона. Именно такие антициклонические вихри были предсказаны исходя из результатов лабораторных экспериментов на мелкой воде, их центры находятся на радиусе коротации.

Обратим внимание на то, что скорости газа в спиральных ветвях направлены при расстоянии, меньшем радиуса коротации, к центру, а при большем — от центра галактик. Именно такое поведение скоростей и предсказывает теория волн плотности. Сравнение положений спиральных ветвей и антициклонов показывает, что центры последних находятся между спиральными рукавами. Это означает, что для данных галактик силы самогравитации в газе превышают силы гидродинамического давления (см. табл.).

Анализ, подобный описанному выше, пока может быть проведен лишь для очень небольшого числа галактик. Однако он наглядно продемонстрировал широкие возможности, которые открывает метод исследования фурье-компонент азимутального распределения лучевой скорости, когда для этого имеется достаточный массив наблюдательных данных.

Очевидно, неверно было бы утверждать, что проблема спиральной структуры таким образом решена. Удалось лишь построить надежный «мостик» между наблюдениями и теорией. И теперь одна из первоочередных задач — создание компьютерных моделей, позволяющих описывать как наблюдаемое распределение яркости, так и распределение скорости в дисках спиральных галактик.

Заметим, что найденные нами структуры — гигантские антициклоны — можно назвать «линейными», поскольку они возникают при сколь угодно малой амплитуде возмущений, вызванных волной плотности³⁹. Достигнутая к настоящему времени точность наблюдений позволяет уверенно определять в некоторых случаях возмущения скорости, меньшие на порядок, чем амплитуды линейных колебаний, т.е. уже сейчас можно исследовать достаточно тонкие нелинейные возмущения скоростей. Это позволяет приступить к исследованию нелинейных процессов. Среди интересных явлений, предсказываемых нелинейной теорией галактических дисков, можно упомянуть трехмерную крупномасштабную конвекцию, вызываемую квазистационарными волнами плотности⁴⁰, и нелинейные вихри Россби в центральных областях галактик⁴¹. Наблюдательное подтверждение этих явлений — непростая задача. Вместе с тем бурный прогресс инструментальных средств и методов наблюдений позволяет надеяться, что на открытие этих нелинейных потоков и структур понадобится меньше чем семь лет, которые прошли с момента предсказания гигантских антициклонов в галактиках до их обнаружения.

Так выглядит на сегодняшний день история предсказания и открытия гигантских антициклонов в спиральных

³⁹ См. сноску 3.

⁴⁰ Fridman A.M., Khoruzhii O.V. Appendix V to book // Fridman A.M., Gor'kavyi N.N. Dynamics of Planetary Rings. N.Y., 1998.

⁴¹ Fridman A.M., Khoruzhii O.V. // Chaos in Gravitational N-Body Systems / Eds. J.C.Muzio, S.Ferraz-Mello, J.Henrard. Netherlands, Kluwer Academic Publisher, 1996. P.197–206.

галактиках. Несмотря на единство спирально-вихревой структуры, открытия спиралей и вихрей разделяют полтора столетия. Все это время спирали блистают как «надводная часть айсберга», поражая астрономов многообразием и динамичностью своих форм. Вихри оказались «подводной частью» того же «айсберга», обнаружить которую не могли многочисленные телескопы на самых различных длинах волн. И одна из причин этого — в необходимости самого этапа предсказания на уровне лабораторного и численного моделирования, аналитического исследования, когда выявлялись природа и место локализации этих скрытых структур.

Хотя все физические теории опираются на экспериментальную базу, теория и эксперимент развиваются, как правило, не синхронно. В нашем случае это проявилось в том, что наблюдательная задача по поискам вихревых структур была поставлена раньше чем появились технические предпосылки ее выполнения.

Первые попытки анализа полей скоростей газа в галактиках с целью поиска вихрей были предприняты, по имеющимся данным, по одномерному распределению скоростей газа при различных ориентациях щели спектрографа относительно оси галактики. Но

этот подход был обречен на неудачу: для решения задачи требовались оценки скоростей газа с точностью до нескольких километров в секунду (при скорости вращения газового диска галактики 200—300 км/с) для многих тысяч точек диска. Только в последние годы ситуация изменилась. В CAO РАН (при сотрудничестве с французскими коллегами из Марсельской обсерватории) был создан высокоточный оптический прибор — сканирующий интерферометр, основой которого является хорошо известный в оптике интерферометр Фабри—Перо. Параллельно была выполнена кропотливая работа по составлению пакетов программ как для предварительной машинной обработки «сырых» наблюдательных данных, так и для анализа полученного поля скоростей газа. Это и позволило в конечном счете добиться успеха.

Многолетние усилия по поиску упомянутых структур позволяют теперь получить «динамический портрет» спиральных галактик, о чем мы не могли и мечтать в то время, когда приступали к этим исследованиям.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и российской национальной программы «Фундаментальные космические исследования. Астрономия».

КОРОТКО

В 1997 г. Франция снизила потребительские цены на электроэнергию в среднем на 6%, а к 2000 г. планирует снизить их еще на 14%. Снижение вызвано ростом эффективности ра-

боты атомных станций, производящих более 80% электроэнергии в стране.

В Бельгии также снижены тарифы на электроэнергию: в 1997 г. — на 2%; в этом же году ее

атомные станции произвели рекордное для страны количество электроэнергии — 60% общей выработки.

European Nuclear Society Nuclearus. 1998. № 2 (Швейцария).

«Заместители» Солнца

А. В. Миронов,

кандидат физико-математических наук
Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
Москва

СОЛНЕЧНОЕ излучение служит эталоном при решении многих задач физики и астрономии. Подробные сведения о непрерывном и линейчатом спектре Солнца в различных диапазонах электромагнитных волн — от рентгеновского до радио — представлены в целом ряде атласов и каталогов. Однако если пытаться сравнить солнечное излучение с излучением других звезд, возникают значительные трудности. Прежде всего они связаны с тем, что, как писал еще Козьма Прутков, «солнце светит днем, когда и без того светло». Точное сравнение очень яркого дневного источника света со звездами, источниками на много порядков более слабыми и наблюдающимися ночью, — весьма сложная техническая проблема. Задача поиска звезд, похожих на Солнце и могущих сделаться его «заместителями» при ночных измерениях, возникла давно. (Кстати, в англоязычных статьях для таких звезд нередко используется термин «проху», означающий буквально «заместитель», «уполномоченный представитель».) Изучение аналогов Солнца должно помочь уточнить место Солнца среди звезд, глубже понять его эволюционный статус.

Современные каталоги содержат данные о нескольких миллионах звезд. Казалось бы, не слишком трудно отыскать среди них звезду, в точности подобную Солнцу. Но это не совсем так. По-ви-

димому, первым, кто в конце 70-х годов поставил и начал решать эту задачу на современном уровне, был Дж. Харддорп, астрофизик, работавший в Париже, Нью-Йорке и Техасе. Пять звезд, предложенные Харддорпом как ближайшие аналоги Солнца, до сих пор служат объектами пристального изучения многих исследователей.

Температура нижней части видимой атмосферы Солнца — фотосферы — равна 5780 К. В астрономической спектральной классификации, отражающей температуры в поверхностных слоях звезды, Солнце считается стандартом спектрального класса G, подкласса G2. Масса Солнца составляет приблизительно $2 \cdot 10^{30}$ кг, его диаметр¹ — примерно $1.4 \cdot 10^9$ м. При таких параметрах ускорение силы тяжести на поверхности Солнца почти в 28 раз больше, чем на поверхности Земли. Звезды с подобными характеристиками в астрофизике считаются карликами, и наше Солнце — звезда-карлик. Ее состояние описывается точкой из главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рассела². Но такой

она будет не всегда. У любой звезды, похожей на Солнце, на определенном этапе эволюции радиус начинает сильно возрастать, а средняя плотность падать. Принято говорить, что звезда при этом становится сначала субгигантом, а затем гигантом.

Очень широкий класс звезд, представляющий собой смесь карликов и субгигантов — от поздних подклассов спектрального класса F (с температурами примерно на 400 градусов выше солнечной) до поздних подклассов спектрального класса G (с температурами примерно на 400 градусов ниже солнечной) — называют *солнцеподобными* («solar-like») звездами. Эти звезды не сильно отличаются от Солнца по температуре, радиусу и массе, но могут иметь заметные различия по другим важным параметрам, таким как возраст или химический состав.

Известно, что Солнце — довольно старая звезда. Ее возраст — более 4 млрд лет. Наиболее старые звезды Галактики всего в 2—3 раза старше Солнца, а молодые соседи нашей Солнечной системы, такие, например, как звезды скопления Плеяды или Гиады, в 10 и более раз моложе Солнца. Звезды с массой, близкой к массе Солнца, после вступления в фазу, соответствующую принадлежности к главной последовательности, в течение нескольких миллиардов лет жизни мало изменяют свою светимость и спектральный

¹ См.: Северный А.Б. Солнце как звезда // Природа, 1983. № 4. С.59—67.

² Самуель Н.Н. Шаровые скопления — свидетели юности Галактики // Природа. 1976. № 9. С.16—25. Последовательность спектральных классов OBAFGKMRN легко запомнить по первым буквам слов любимой фразы американских физиков: «Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now!»

класс (т.е. температуру)³. Лишь к концу первого десятилетия миллиардов лет солнцеподобные звезды становятся субгигантами и гигантами. Солнце, несмотря на свой солидный возраст, пока еще мало изменилось.

Содержание того или иного химического элемента в атмосфере звезды астрофизики обычно выражают в относительных единицах — количестве атомов этого элемента по отношению к количеству атомов водорода на единицу объема. В атмосфере Солнца на каждый миллион атомов водорода приходится почти 100 тыс. атомов гелия, 720 атомов кислорода, 400 — углерода, 123 — неона, 100 — азота, 38 — магния, 35 — кремния, 32 — железа, 16 — серы. Остальные элементы содержатся в количествах, в десятки и сотни раз меньших⁴.

По сравнению с любой другой звездой химический состав атмосферы Солнца изучен наиболее точно, поэтому Солнце традиционно рассматривают как некий эталон звезды с «нормальным химическим составом». Однако в атмосферах многих солнцеподобных звезд содержание химических элементов, более тяжелых, чем гелий, отличается от солнечного. Это количество астрофизики обычно называют либо *уровнем металличности*, несмотря на то, что рассматриваются не только металлы, либо *содержанием тяжелых элементов*. Для подавляющего большинства карликов спектральных классов F и G уровень металличности, усредненный по раз-

ным элементам, может быть как в 2 раза большим, так и в 5 раз меньшим, чем на Солнце. Например, у звезд скопления Пляды и Волосы Вероники металличность близка к солнечной, а вот в атмосферах звезд скопления Гиады тяжелых элементов в 1.6 раза больше, чем на Солнце⁵.

Звезды, у которых температура и светимость практически те же, что и в начале «жизни» на главной последовательности, а возраст, уровень металличности и кинематические свойства не слишком отличаются от таковых у Солнца, сейчас принято называть *аналогами Солнца* (Solar analogs).

Благодаря близости Солнца к Земле мы имеем возможность изучать многие происходящие на нем процессы. Так, мы хорошо знаем период вращения Солнца вокруг своей оси, можем фиксировать возникновение и развитие явлений солнечной активности: солнечных пятен, вспышек, факелов и др.

Важно отметить, что с современной точки зрения Солнце — переменная звезда. Несмотря на то, что полный поток энергии солнечного излучения колеблется весьма незначительно (не более чем на 0.1%), в областях радиоизлучения, а также ультрафиолетового и рентгеновского участков спектра потоки энергии могут значительно варьировать (например, в рентгеновских лучах с длиной волны короче 100 нм — более чем в два раза). Заметим, что наблюдения ультрафиолетового излучения Солнца доступны только из космоса.

За последние 20 лет переменность Солнца в

ультрафиолете и в радиодиапазоне была надежно зарегистрирована. Она связана с появлением и исчезновением активных областей и с изменениями магнитных полей. Переменность с амплитудой, равной нескольким сотым долям процента, зарегистрирована и в оптическом диапазоне. Она модулирована прежде всего 27-суточным периодом вращения Солнца вокруг своей оси и 11-летним периодом главного цикла солнечной активности. Процессы солнечной активности влияют также на форму профилей многих спектральных линий. Такие явления характерны для переменных звезд типа ВУ Дракона, и Солнце относится к переменным этого типа. Современные данные позволяют считать, что переменность Солнца типична для звезд его возраста и массы.

Полными же *двойниками* или *близнецами* Солнца («Solar twins») можно считать только те звезды, у которых все физические параметры (масса, химический состав, возраст, температура, светимость, ускорение силы тяжести, характер и напряженность магнитных полей, период вращения вокруг своей оси, тип переменности, характер активных явлений в атмосфере и т.д., и т.п.) очень схожи с солнечными.

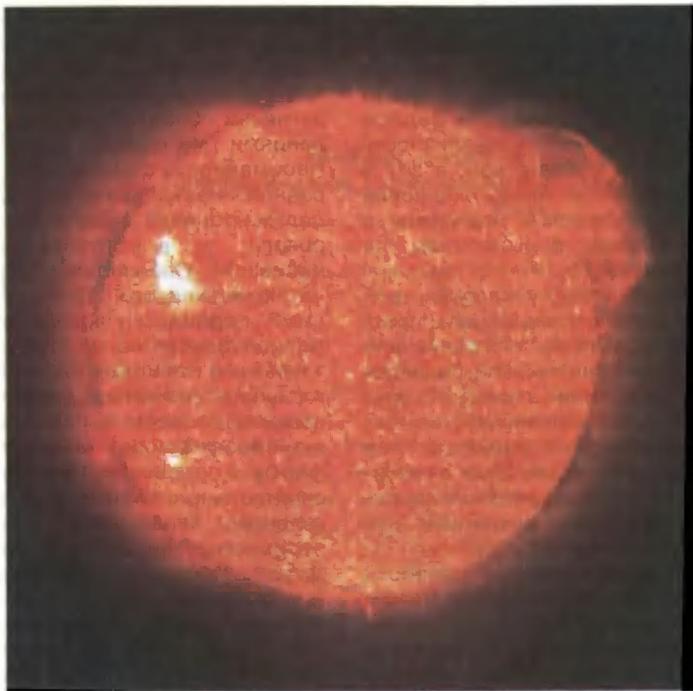
Интерес к аналогам Солнца особенно возрос в последнее время в связи с обнаружением планетных систем у некоторых звезд. Подавляющее большинство этих звезд относится к солнцеподобным.

Современное состояние проблем изучения солнечных аналогов недавно обсуждалось на научном совещании в Ловелловской обсерватории (Аризона, США), проходившем в октябре 1997 г. На нем встретились более 30 ученых из Америки и Европы,

³ Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М., 1984.

⁴ Любимков Л.С. Химический состав звезд: метод и результаты анализа. Одесса, 1995. С.162.

⁵ Холопов П.Н. Звездные скопления. М., 1981.



Вид Солнца в лучах спектральной линии однократно ионизованного гелия с длиной волны 30.4 нм. На фотографии виден очень большой протуберанец. Температура плазмы в протуберанце около 100 тыс. градусов; он распростерся над площадью длиной в 27 диаметров Земли. Фотография получена 28 августа 1997 г. с борта космического аппарата «SOHO» (Solar and Heliospheric Observatory).

которые непосредственно занимаются поиском и исследованием «заместителей» Солнца. Было представлено и обсуждено 27 докладов. Участники совещания с разных точек зрения, используя разносторонние сведения, стремились понять, как соотносятся общие характеристики и поведение Солнца в разных фазах цикла его активности с явлениями на солнцеподобных звездах.

Одна из важнейших характеристик любой звезды, которую можно получить из непосредственных измерений на телескопе, — распределение энергии в ее спектре. Свет от небесного объекта разлагается в спектр, и

интенсивность каждого из многочисленных участков этого спектра регистрируется высокочувствительной аппаратурой.

Чтобы провести спектrophотометрические наблюдения избранной звезды, требуется достаточно продолжительное время, поэтому их невозможно выполнить для очень большого числа звезд. Но приближенное представление о распределении энергии в спектре звезды можно получить, если пропустить проходящий от нее свет через набор различных светофильтров, каждый из которых выделяет часть излучения в довольно широком, но вполне опреде-

ленном спектральном участке. Такой выделенный участок в астрономии принято называть фотометрической полосой. Обычно выделяется от трех (например, ультрафиолетовый, синий и желто-зеленый) до полутора десятков фотометрических полос в видимом и ближних ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах светового излучения. Описанный метод называется многоцветной астротометрией. По давней астрономической традиции, каждый из световых потоков, прошедший через определенный светофильтр и, следовательно, относящийся к одной из фотометрических полос, измеряется в звездных величинах. А разности любых двух звездных величин исследуемого объекта, полученных в соответствующей паре светофильтров, называются показателями цвета. При увеличении доли энергии, приходящей в более длинноволновых (более «красных») лучах, показатель цвета увеличивается, а в противоположном случае уменьшается. Самые малые показатели цвета имеют наиболее горячие «голубые» звезды, самые большие — холодные «красные».

Солнце занимает место в середине астрономических шкал показателей цвета.

Результатам поиска аналогов Солнца по спектrophотометрическим и многоцветным фотометрическим данным были посвящены доклады московского астрофизика И.Н. Глушневой, алма-атинского астронома А.В. Харитоновича и автора этих строк.

Глушневая сравнивала распределение энергии в видимом и инфракрасном диапазонах спектра Солнца с распределениями энергии и инфракрасными звездными величинами нескольких звезд — кандидатов на роль двойников Солнца. Измерив

спектры восьми звезд с весьма высокой точностью, она показала, что все исследованные объекты в той или иной степени отличаются от Солнца энергетическим распределением и ни один из кандидатов не может считаться полным аналогом нашего светила. Данные по солнечному спектру для этого анализа были взяты из двух наиболее надежных современных источников⁶.

В настоящее время существует несколько многоцветных фотометрических каталогов, содержащих точные сведения о звездных величинах нескольких десятков тысяч звезд в различных фотометрических полосах. Харитонов и автор данной статьи произвели поиск звезд, которые имели бы максимальное сходство с Солнцем по наибольшему числу показателей цвета, определенных различными исследователями. Всего мы просмотрели данные, отно-



Фотография, полученная «SOHO» 28 апреля 1998 г. в 19 ч 8 мин 48 с Гринвичского времени: Солнце снято в лучах спектральной линии Fe XV. Эта линия, имеющая длину волны 28,4 нм, также лежит в далеком ультрафиолете; ее дают атомы ионизованного железа, у которых «оторвано» по 14 электронов. Чтобы ионизовать железо до такой степени, нужна температура, намного превышающая температуру непрозрачной поверхности Солнца. Необходимая температура существует только в короне Солнца, поэтому фотография практически представляет внезапный снимок солнечной короны. Звезды, которые могли бы быть двойниками Солнца, должны показывать сходные явления в своих атмосферах и коронах.

⁶ Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М., 1991; Бурлов-Васильев К.А., Гуртовенко Э.А., Матвеев Ю.Б. // Кинематика и физика небесных тел. 1994. Т.10. № 3. С.3–32.

Типичная картина, возникающая при сравнении распределений энергии в спектре Солнца со спектром звезд — солнечных аналогов. По вертикальной оси отложено отношение потоков энергий, излучаемых звездой BS 4030 (эта звезда имеет номер 4030 в Каталоге ярких звезд — Bright Star Catalogue) и Солнцем при разных длинах волн в оптическом диапазоне. Эта звезда с визуальной звездной величиной находится в созвездии Льва и является одним из объектов, отобранных ранее к изучению в качестве аналога Солнца; данные о ее спектре получены И.Н.Глушневой. На графике хорошо видно, что в синей, зеленой и желтой областях спектры звезды и Солнца сходны, а в ближней ультрафиолетовой и оранжево-красной областях расхождения превышают 10%. Таким образом, звезда BS 4030 не может считаться достаточным близким двойником Солнца.



сящиеся почти к 40 тыс. сравнительно ярких звезд. И в среднем лишь одна звезда из каждой просмотренной тысячи была отобрана как кандидат в «заемстители» Солнца. Эти звезды теперь должны быть изучены более тщательно.

За два последних года путем тщательных измерений удалось отобрать 10—12 звезд, у которых с большой

степенью вероятности существуют планетные системы. Астрономы никогда не сомневались в том, что многие звезды обладают планетами. Однако только в самое последнее время стало возможным конкретно указать на несколько звезд, вокруг которых, по-видимому, в самом деле обращаются планеты⁷. Очень симптоматично, что целых семь звезд

из их числа вошли в список отобранных нами кандидатов на роль двойника Солнца.

Поиск звезды, которая будет стоять в списке «заемстителей» Солнца первой, продолжается.

⁷ Как рождаются планетные системы // Природа. 1997. № 1. С.104—105; Еще одна планета? // Природа. 1998. № 2. С.102.

КОРОТКО

Order yours today

Announcing the new Built-in Orderly Organized Knowledge device, otherwise known as the BOOK. It's a revolutionary breakthrough in technology: no wires, no electric circuits, no batteries, nothing to be connected or switched on. It's so easy to use even a child can operate it. Just lift its cover. Compact and portable, it can be used anywhere — even sitting in an armchair by the fire — yet it is powerful enough to hold as much information as a CD-ROM disk.

Here's how it works: each BOOK is constructed of sequentially numbered sheets of paper (recyclable), each

capable of holding thousands of bits of information. These pages are locked together with a custom-fit device called a binder which keeps the sheets in their correct sequence. By using both sides of each sheet, manufacturers are able to cut costs in half. Each sheet is scanned optically, registering information directly into your brain. A flick of the finger takes you to the next sheet. The BOOK may be taken up at any time and used by merely opening it. The «browse» feature allows you to move instantly to any sheet, and move forward or backward as you wish. Most come with an «index» feature, which pinpoints the exact

location of any selected information for instant retrieval.

An optional «BOOKmark» accessory allows you to open the BOOK to the exact place you left it in a previous session — even if the BOOK has been closed. BOOKmarks fit universal design standards; thus a single BOOKmark can be used in BOOKs by various manufacturers.

Portable, durable and affordable, the BOOK is the entertainment-wave of the future, and many new titles are expected soon, due to the surge in popularity of its programming tool, the Portable Erasable-Nib Cryptic Intercommunication Language Stylus...

Серебряный гигант России

М. М. Константинов



Михаил Михайлович Константинов, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации. Заведует отделом геологии, методов поисков и прогнозирования месторождений благородных металлов Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института, Министерства природных ресурсов России. Область научных интересов — геология и оценка месторождений золота и других благородных металлов. Лауреат премии им. академика В.А. Обручева (1984).

ЛЕТОМ 1967 г. случилось одно знаменательное событие. Молодая, миниатюрная, очень энергичная женщина — Тамара Ильинична Иевлева, начальник геолого-съёмочной партии, отобрала пробы тёмно-бурых пород на вершине небольшой сопки Омсукчанского района Магаданской области.

Лаборатория показала необычайно высокие содержания серебра, и по имени близрасположенного ручья рудопроявление было названо Дукатским.

Названия местным ручьям, иногда самые причудливые, давали топографы при составлении топопланшетов, и один из них видимо был большим поклонником одноименной табачной фабрики.

Нужно сказать, что прямые находки руд желанны, но очень редки в геологических партиях. Это всегда приятная сенсация. И когда осенью того же года, на традиционной приемке полевых материалов, работу партии оценили на тройку, Тамара Ильинична была потрясена несправедливостью своих коллег. Она не выдержала душевной травмы и навсегда покинула суровый край вечной мерзлоты.

Но Дукат уже родился и стал жить и развиваться по законам жанра: детальный поиск и оценка, разведка и подсчет запасов, утверждение (защита) запасов в Государственной комиссии, передача объекта промышленности к освоению.

Из многих и многих людей, отдавших свой труд, опыт и знания созданию Большого Дуката (некоторые из которых и сегодня мои добрые друзья и товарищи), я упомяну только ныне покойного первого начальника Дукатской экспедиции — Феликса Эмильевича Стружкова. Человек огромной энергии и яркого организаторского таланта, он в тяжелых



Дукат 1973 г. Первопроходцы зимуют в палатках.

Здесь и далее фото автора

условиях обеспечил четкую и эффективную работу экспедиции. В короткие сроки месторождение было разведано и доказано наличие 16 тыс. тонн серебра — масштаб мирового значения. Для сравнения отметим, что на знаменитом руднике Гуанахуато в Мексике за несколько тысячелетий добыто около 20 тыс. тонн серебра. На ныне действующем крупнейшем серебро-полиметаллическом месторождении Церро де Паско в Перу установлено 10 тыс. тонн. Дукат таким образом находится где-то посередине между двумя мировыми гигантами.

Другое очень важное качество Дукатского месторождения — необычайно богатые руды. Среднее содержание металла — около 480 г/т. Опять-таки для сравнения отметим, что на серебряном месторождении Саншайн (США) американцы с выгодой добывают шахтным способом руды с содержанием 200 г/т (на глубине свыше 2 км!), аналогичные руды на глубине около 1 км отрабатывает канадская фирма в Тайльтите (Мексика).

Более того, отдельные жилы Дукатского месторождения содержат на тонну руды килограммы и даже десятки килограммов серебра и являются по существу природным серебряным концентратом, не требующим переработки на обогатительной фабрике. Объект сразу привлек пристальное внимание горнодобывающей промышленности.

Мое знакомство с Дукатом и с начальником Дукатской экспедиции Стружковым состоялось солнечным мартом 1973 г., когда только закладывались первые разведочные штольни. Большая часть сотрудников экспедиции зимовала в утепленных палатках, а по поселку носились псы, мохнатые как медведи, проводившие круглый год на свежем воздухе. Позднее ударными стройками студенческих отрядов был возведен уютный поселок, в том числе большой Дом культуры. Многие жители поселка красовались в больших мохнатых шапках. Вообще большие и дорогие головные уборы — это стиль 70-х Магаданской обл.



Уютный поселок Дукатской геологоразведочной экспедиции. 1976 г.

Встречались шикарные женщины, носившие на голове примерно две моих годовых зарплаты. Наряду с возможностью ими восхищаться я, в составе группы специалистов института ЦНИГРИ Министерства геологии СССР, должен был внедрять прогрессивные технологии — фотодокументацию рудных тел и механизированный отбор проб, а также участвовать в первой геолого-экономической оценке месторождения, определявшей всю его дальнейшую судьбу.

В это же время формировались представления о геологическом строении месторождения и условиях образования его руд, на чем мы остановимся подробнее¹.

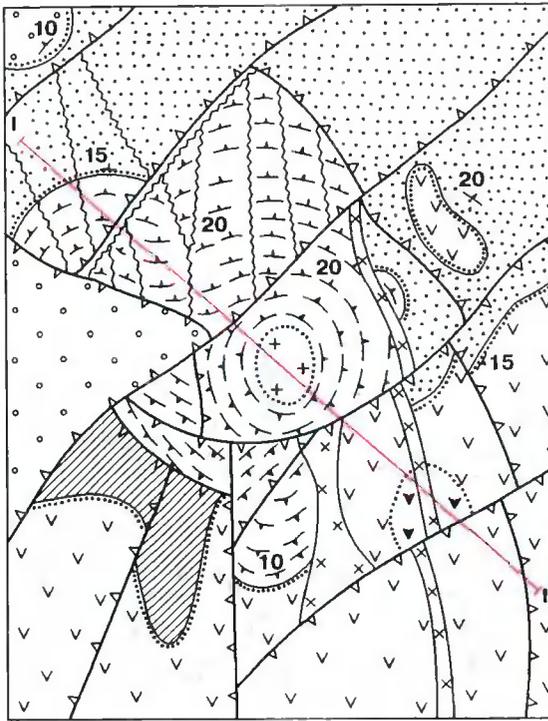
Меловая металлогеническая эпоха, в которую образовалось серебряное оруденение, была эпохой интенсивных

вулканических извержений, связанных с системой глубинных расколов всей восточной окраины азиатской континентальной части России. В результате сформировался гигантский Охотско-Чукотский вулcano-плутонический пояс, протяженность которого видна уже из названия и превышает 3 тыс. км.

От этого пояса вулканы как бы проникали в глубь континента по крупным субмеридиональным разломам, наиболее хорошо оформленная система которых (Балыгычано-Сугойской прогиб) как раз и заключает руды Дуката. Данные современной, достаточно надежной рубидиево-стронциевой геохронологии свидетельствуют о том, что вулканизм на самом деле первоначально зарождался в глубинах континента, а уж затем постепенно смещался к его окраине, где и развернулся в полную силу.

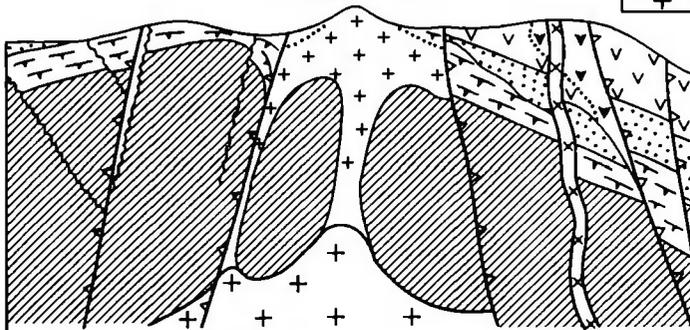
Тектонисты интерпретируют транс-континентальные разломы Балыгычано-Сугойского прогиба как структуры рифтогенного типа (щелевидные образова-

¹ См. также: Константинов М.М., Калинин А.И., Наталенко В.Е. и др. Золото-серебряное месторождение Дукат (Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. № 4. С.317–334.



- Верхнемеловой липаритовый комплекс**
 покровные фации (игнимбриты, пепловые туфы, липариты)
 субвулканические фации (невадиты, трахилипариты)
- Верхнемеловой андезитовый комплекс**
 покровы андезитов и их туфов
 субвулканический тела диоритовых порфиритов
- Нижнемеловая углито-алевролитовая толща**
 Нижнемеловой липаритовый комплекс
 покровные фации (флюидальные липариты, туфы липаритов)
 субвулканические фации (невадиты)
- Алевролиты и песчаники триаса**
- Разломы**
- Рудные зоны**
- Контакты пород несогласного залегания**
- рвущие**
- фациальные**
- 20** Элементы залегания пород
- +** Скрытый гранодиоритовый интрузив

разрез I-I



Структурная схема рудного поля.

ния, связанные с растяжением континентальной коры). На них, как шампуре, нанизаны сменяющие одна другую по простиранию вулканические постройки — изометричные депрессии площадью 300—400 км², осложненные диагональными разломами, мелкими куполами и прогибами.

С одним из таких вулкано-интрузивных куполов и связано Дукатское месторождение. В центре его расположен экструзив, запечатавший жерло

древнего вулкана, а по периферии — флюидальные лавовые потоки, выклинивающиеся к подножию купола. Лавы были насыщены газами, и извержения носили взрывной характер — раскаленные частицы лавы поднимались в атмосферу и тут же осаждались, образуя спекшиеся туфы — игнимбриты.

Вулканические процессы и формирование купола происходили на фоне подвижек по системе диагональных северо-восточных разломов, по

выведены на современную поверхность. Развитие континентального вулканизма происходило синхронно накоплению углей в крупном пологом прогибе северо-восточнее Дуката. Вулканический центр расположен на его периферии, в результате чего лавы и туфы чередуются в разрезе с черными углисто-пелитовыми слоями.

Последнее важно, поскольку такие слои местами играли роль структурных экранов для отложения руд.

По завершении вулканической деятельности под всю вулкано-тектоническую депрессию на глубине 3—4 км внедрилась гранитовая интрузия, образовавшая небольшой выступ непосредственно под вулканическим куполом и повторившая его форму. Об этом раньше всех догадались геофизики, очертившие под месторождением отрицательную гравиметрическую аномалию (область пород пониженной плотности) и точно предсказавшие, что эта аномалия связана с внедрением гранитов. Позже скважины, пробуренные на глубины 1100—1400 м, вскрыли граниты.

Серебряная минерализация цементировала брекчию пород в протяженных зонах дробления или заполняла полости трещин. Сформировались стержневые плитообразные тела и сопровождающий их ореол прожилков, общей шириной до 10—15 м, в совокупности составляющие промышленный рудный контур.

Наиболее крупная рудная зона — Первая — приурочена к большому крутопадающему разлому субмеридионального простирания и прослежена на 1,5 км. В пределах разлома породы раздроблены, перетерты, рассланцованы. Вблизи него можно наблюдать закрученную флюидалность лав, что говорит о характере движений при образовании лавовых потоков. Осевая часть разлома сцементирована плитообразным телом, сопровождаемым широким ореолом прожилковой минерализации, а к востоку от него субпараллельно простираются маломощные, но очень богатые рудные жилы.

Другую систему образуют более пологие плитообразные тела северо-



0 1.5 см

Крупный самородок серебра.



Самородочки серебра в натуральную величину.

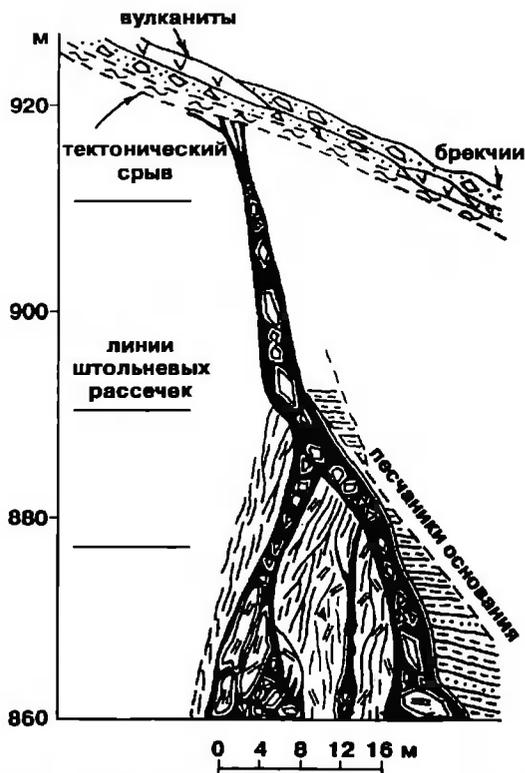
Другую систему образуют более пологие плитообразные тела северо-западного простирания.

На западе месторождения обнаружены руды, не выходящие на поверхность, которые из-за этого геологи называют слепыми. На самом деле геологи еще не очень хорошо умеют искать такие рудные тела. Именно в этом районе раньше была установлена слабая геохимическая аномалия, которая, однако, не привлекла к себе внимания. Позже аномалия была увязана с благоприятной структурной позицией. Здесь пробурили скважины и выявили новый рудный участок.

Богатые рудные «струи» или столбы полого погружаются (согласно с общим погружением) на север крыла экструзивного купола. Их положение связано с сопряжениями и пересечениями рудных тел разных направлений или с их изгибами по простиранию. Как установлено геохронологическими



Серебряные руды Дуката Слева направо: кокардовые, колломорфные, полосчато-брекчиевые.



Расширяющееся книзу скрытое рудное тело под экраном горизонта конгломератов и брекчий.

методами, оруденение сформировалось в два этапа — 86 и 74 млн лет назад, — между которыми существовал длительный период «застоя». При этом руды обоих этапов совместились на небольшом участке месторождения площадью в несколько десятков квадратных метров. Такой эффект длительного, многоэтапного и концентрированного рудообразования характерен для многих других рудных гигантов мира².

Основной носитель серебра в рудах — его сульфид, акантит (Ag_2S), кроме того, встречаются самородное серебро и другие серебросодержащие минералы.

Самородное серебро и самородное золото в природе образуют ряд изоморфной смесимости. На Дукате этот ряд представлен существенно серебряной частью — серебром с устойчивым содержанием золота 20—25%.

Руды Дуката очень красивые: с кокардовыми, колломорфно-полосчатыми

² Константинов М.М. Золоторудные гиганты // Отч. геология. 1993. № 6. С.75—83.



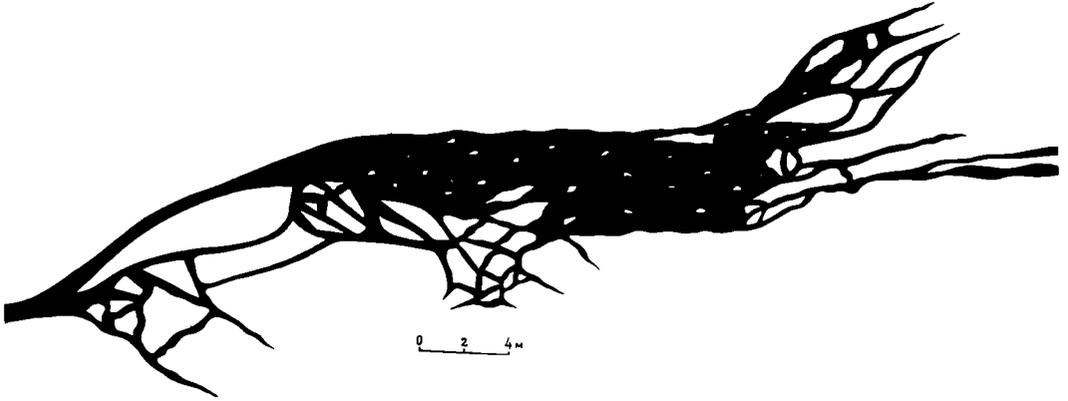
адуляра, — нежно-розовый родонит с темными просечками оксидов марганца, тонкие, распыленные в кварце чешуйки зеленого хлорита в сочетании с черными полосками агрегата минералов серебра — все это невольно вызывает восторг перед красотой, которую может создать неживая природа. Ну и, конечно, эффектно самородки серебра, образовавшиеся при окислении первичных руд. Главный геолог Дукатского обоганительного комбината с гордостью доставал из сейфа и демонстрировал агрегативный самородок серебра весом около 4 кг, а уж небольшие самородочки проволоковидной и дендритовидной формы мог раскопать каждый в отвалах разведочных штолен. Что касается развалов бурых пород, привлечших внимание первооткрывательницы Дуката, — ими оказались оксиды марганца, заместившие на поверхности родонит. Они очень прочно сорбируют серебро (его, кстати, довольно много в океанических марганцевых конкрециях) и являются прекрасным поисковым признаком на серебряные руды.

Как могли образоваться такие богатые и красивые руды? Месторождение Дукат относится к классу малоглубинных. Геологические и неко-

торые минералогические данные свидетельствуют о формировании его на глубинах всего около 500 м при оптимальном уровне эндогенного рудообразования в 3—5 км. На таких глубинах литостатическое давление пород невелико и не играет существенной роли в отложении рудного вещества.

Высококонцентрированные кремнистые рудоносные флюиды (смесь газов и раствора) — продукты поствулканической гидротермальной деятельности, попадая в открытые трещины, в связи с быстрым уменьшением давления и температуры резко сбрасывали газовую составляющую. По включениям в минералах установлен эффект «вскипания растворов». В результате последние оказывались пересыщенными и циклически отлагали избыточные рудные компоненты. Кроме того, в результате несоответствия высокого внутреннего давления флюида и небольшого литостатического происходило инъецирование флюидов в боковые породы по механизму гидроразрыва, о чем свидетельствует строение некоторых рудных тел, установленное при их детальной документации.

По изотопии стронция сегодня



Линзовидное рудное тело (черная заливка) инъекционно-брекчиевого строения.

можно высказать некоторые предположения о больших глубинах зарождения магматического очага — источника вулканитов, а по изотопии кислорода — предположить, что большую роль в формировании рудоносной палеогеотермальной системы играли поверхностные воды, которые, погружаясь, нагревались за счет глубинного тепла и насыщались газами, становились агрессивными и вступали в активные химические взаимодействия с боковыми породами. Как при этом происходит интенсивное концентрирование серебра на небольшом участке земной коры — остается загадкой. Можно высказать только некоторые общие соображения. Поствулканические месторождения золота и серебра, формирующиеся на небольших глубинах, очень богаты металлом. Современная геохимия изотопов ориентирует нас на то, что очаги зарождения рудоносных флюидов очень глубоки — десятки километров. Таким образом, возникает геологический парадокс: месторождения с наиболее удаленными источниками руд отличаются наиболее концентрированным скоплением металлов. Возможно, в процессе движения флюидов от источника к месту рудоотложения включается еще не известный нам механизм концентрирования, «сужения» рудоносного потока наподобие самофокусировки лазерного луча.

Но вернемся к практическим делам. Огромные запасы, богатые руды, сравнительно развитая инфраструктура района (где еще в довоенные годы силами заключенных обрабатывались небольшие оловянные месторождения), дефицит в стране серебра, попутное извлечение золота, свинца, цинка — все это делало Дукат весьма привлекательным для цветной металлургии. В короткие сроки был построен поселок городского типа, небольшой обогатительный комбинат и началась разработка месторождения. Отработано около 12% запасов руд.

Страшный удар, от которого Дукат так и не сумел оправиться, нанес ему развал Союза. Дело в том, что свои серебряные концентраты местная обогатительная фабрика отправляла на металлургический комбинат Рудного Алтая, отошедший сейчас к Казахстану. Братская республика по инерции продолжала концентрат получать, но перестала его оплачивать и тем более возвращать в виде серебряных слитков.

Отчаянные попытки сохранить разработку месторождения и высококвалифицированные кадры специалистов не удались. Только в самое последнее время появилась надежда, что с помощью привлечения иностранного капитала удастся возродить добычу серебра на Дукате — единственном месторождении серебра в России, рудном гиганте мирового масштаба. Будем надеяться — ведь надежда, как известно, умирает последней.

Географо-экологический «портрет» Черного моря

Д. Я. Фащук



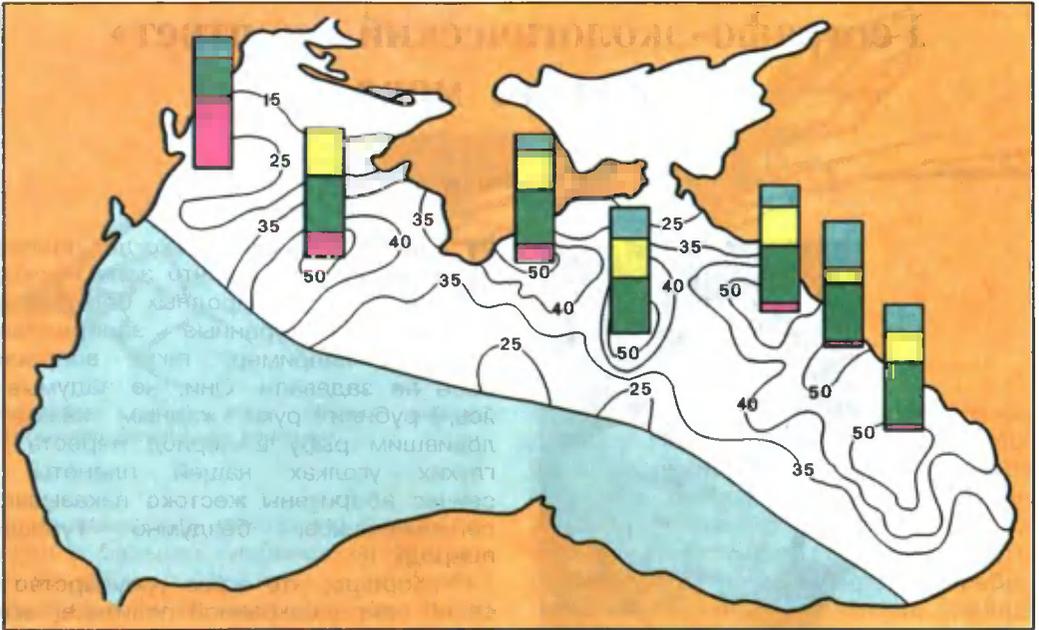
Дмитрий Яковлевич Фащук, доктор географических наук. Занимается изучением механизмов возникновения и динамики морских анаэробных зон, проблемами оценки экологического состояния морских систем. Неоднократно публиковался в «Природе».

ТРУДНО установить, когда человек впервые осознал, что запасы окружающих его природных богатств не бесконечны. Куренные запорожские атаманы, например, таких вопросов себе не задавали. Они, не задумываясь, рубили руки жадным казакам, ловившим рыбу в период нереста. В глухих уголках нашей планеты и сейчас аборигены жестоко наказывают соплеменников, бездумно губящих природу.

Хорошо, что наше государство в своей природоохранной политике таких радикальных мер не придерживалось. Иначе, боюсь, большинство хозяйственных руководителей (особенно в бассейне Черного моря) уже давно были бы в лучшем случае инвалидами (дай им Бог здоровья).

В начале 80-х годов на весьма представительном техническом совете, рассматривавшем вопрос о целесообразности и возможных последствиях строительства Днепровско-Бугского гидротехнического узла, мне довелось объяснять исполнителям проекта — сотрудникам крупного киевского института, что ожидает Черное море в случае его реализации. Я говорил о десятках тонн мертвой рыбы, которая покроет в ближайшие годы пляжи Одессы и Очакова, о гниющих водохранилищах и т.п.

Несмотря на приведенные, как мне тогда казалось, весьма веские аргументы против строительства, аудитория отреагировала на них более чем спокойно. Дискуссия закончилась традиционным вопросом: «А почему ваша природа?» (Имелась в виду компенсация.) К счастью, этот проект не состоялся.



Кормовой зоопланктон

Молодь, личинки

Икринки

Взрослые особи рыб

Суммарная повторяемость (числа на изолиниях, %) и структура (диаграммы) скопленных пелагических рыб на разных стадиях онтогенеза и объектов их питания зимой (1981–1990) в экономической зоне стран СНГ (показана светлым тоном).

Анализируя причины фиаско своего доклада, я пришел к заключению, что основная из них состояла не в недостатке или неубедительности аргументов, а в том, что они не представляли единой цепи причинно-следственных связей, которая позволила бы «объединить слушателя с объектом». В то время выстроить такую логическую схему было просто невозможно из-за обилия и разнообразия имеющейся информации и отсутствия способов ее систематизации.

ПРИНЦИПЫ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

История изучения большинства внутренних и окраинных морей Миро-

вого океана насчитывает десятки, а иногда и более сотни лет. Накоплены огромные банки данных о состоянии морских водоемов, характере природных и антропогенных воздействий на их экосистемы. Сроки, районы, регулярность наблюдений, а также способы получения и обобщения информации, принадлежащей различным ведомствам, значительно отличаются.

В то же время, экологическая обстановка в море формируется сегодня под влиянием сложного комплекса взаимодействующих процессов. Его реакция на внешние импульсы настолько опосредована и неоднозначна, что результаты отдельно выполненных исследований в различных областях морской науки, объединенных по традиции в профессиональные или комплексные монографии, практически не применимы в морской экологии. Экологически значимые выводы в обобщениях такого типа скрыты за методическими подробностями, про-

странными анализами и специфической терминологией, понятными только узкому кругу специалистов. Комплексность же в них представляется зачастую формальной, так как в статьях обычно рассматриваются важные, но весьма узкие профессиональные проблемы, недостаточно между собой увязанные. Кроме того, при таком подходе основу анализируемой экологической информации обычно составляют режимные показатели, а исследование процессов, определяющих формирование режима, структуру причинно-следственных связей в системе внешнее воздействие—реакция морской среды—реакция гидробионтов, оказывается на втором плане.

Немаловажно для фиксации и прогноза экологических ситуаций в морских (особенно внутренних и окраинных) водоемах и то, что эти гидрологические системы неразрывно связаны с водными ресурсами водосборов. А их состояние — индикатор состояния геосистем суши. Большинство исследователей моря единодушно полагают, что причины морских экологических кризисов чаще всего «лежат на берегу». Тем не менее, данные по водосбору редко анализируются при поиске возбудителей «морских болезней».

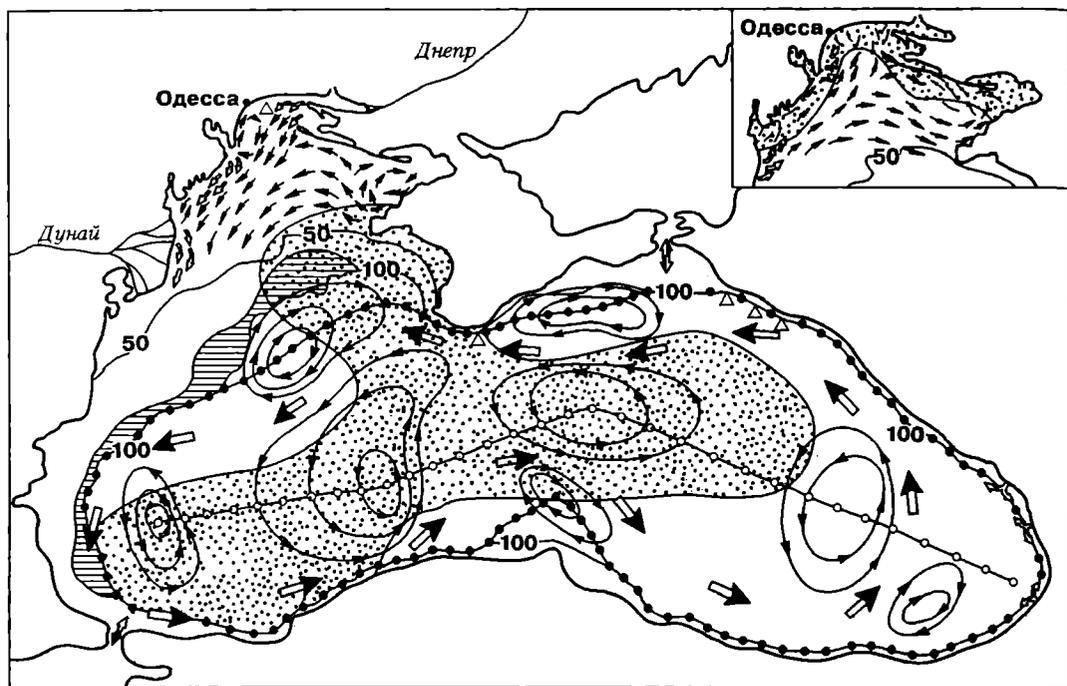
В последние годы активно разрабатываются отдельные элементы системного подхода к исследованию морских водоемов. Появилась антропогенная экология океана, рассматривающая биологические аспекты проблемы антропогенного воздействия (загрязнение)—морская экосистема¹, и геологическая экология океана, исследующая механизмы разрушения биосферы через влияние человека на рельеф, осадки и взвешенное вещество². Не вызывает сомнений перспективность и актуальность указанных направлений, и все же круг решаемых ими проблем в значительной степени ограничен.



В море дел хватает и на палубе, и под килем. Здесь и далее фото автора.

¹ Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л., 1989.

² Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В. Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. СПб., 1993.



⇨ 1 → 2 ↗ 3 ⇨ 4 ← 5 ⇔ 6 ○ 7 ● 8 ▨ 9 △ 10 ▨ 11

Схема природных факторов формирования условий среды в Черном море. Числа на изолиниях — глубина, м.

1 — основное черноморское течение; 2 — квазистационарные вихревые образования; 3 — ветровые течения на шельфе при северо-восточном и юго-западном (врезка) переносах; 4 — стоковые течения; 5 — водообмен через Босфор; 6 — водообмен через Керченский пролив; 7 — зона расхождения вод; 8 — зона схождения вод; 9 — адвекция на шельф глубинной гипоксии; 10 — апвеллинг; 11 — зоны интенсивного волнения и льдообразования (на врезке).

Стремление представить (используя накопленную информацию) морской водоем средствами математики, привело к разработке гидродинамических, динамико-статистических, имитационных и других моделей, позволяющих исследовать отдельные стороны жизни моря. Тем не менее создание достаточно адекватной математической модели морской экосистемы пока остается делом будущего. Это связано не только со сложной структурой объекта моделирования, но и с необходимостью понимания природы исследуемых явлений.

Вот почему ответы на вопросы о

причинах и прогнозе тех или иных экологических изменений, происходящих в море, затягиваются на многие годы, зачастую оставаясь при этом на уровне гипотез. Для доказательства, например, невозможности выхода из глубин на поверхность и возгорания сероводорода в Черном море ученым из более чем 15 научно-исследовательских учреждений понадобилось почти 10 лет³. Аналогичных примеров «оперативности» решения экологических проблем по другим морям более чем достаточно.

Почти двадцатилетний опыт работы в области практической экологии Черного моря убедил автора в том, что выход из сложившейся ситуации возможен с помощью географической науки.

Концепция необходимости перехода при исследовании океана от фактографического знания к системно-

³ Айзатулин Т.А., Фашук Д.Я., Леонов А.В. // Журн. Всесоюз. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева. 1990. Т.XXXV. № 4. С.497—508; Айзатулин Т.А., Фашук Д.Я. Черное море: катастрофы мнимые и действительные // Природа. 1991. № 1. С.69—75.

му географическому анализу физических, химических, биологических и других процессов, формирующих условия среды и определяющих состояние морских гидробионтов, предложена более 20 лет назад⁴. В дальнейшем ее авторами было развито учение В.И.Вернадского о биологической структуре океана, роли пограничных слоев в «скоплении» морских организмов — «сгущении жизни»⁵. С помощью такого подхода в 1973 г. было, например, предсказано существование в районе Галапагосских о-вов в Тихом океане (глубина около 3000 м) «оазисов жизни», основанной на процессе хемосинтеза⁶. В 1976 г. этот прогноз был подтвержден американской экспедицией на подводном аппарате «Алвин».

В географических моделях выделяются: приоритетные природные и антропогенные процессы, влияющие на состояние морской экосистемы; существующие в ней причинно-следственные связи; исследуется их пространственно-временная изменчивость. В этих информационных системах, как и в физических моделях, по выражению немецкого физика Макса Борна, наблюдаемая картина теряет в богатстве оттенков, но зато выигрывает в ясности. Именно они могут служить базой для математического моделирования морских водоемов.

Таким образом, параллельно с традиционными приемами систематизации морской экологической информации ее современный анализ предлагается строить на базе информационной модели, представляющей комплекс географо-экологических аспектов изучения различными науками геосистемы морской водоем—водосборный бассейн.

В качестве приемов для систематизации и наглядного представления многоплановых литературных, справочных, ведомственных данных, результатов полевых исследований, проведенных автором и его коллегами в 1979—1991 гг. в Черном море, разработаны алгоритмы интегральных безразмерных экологических показателей и принципы морского экологического картографирования. Это позволило свести многочисленные цифровые и картографические материалы в сводно-аналитические таблицы и диаграммы, морские диагностические экологические карты и генеральные карты-схемы экологических ситуаций. Другими словами, был разработан географо-экологический «портрет» водоема⁷. Однако «поместить» его в журнальной статье невозможно, поэтому здесь он представлен лишь фрагментами.

ЦЕНТРЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИЗНИ

Интегральный показатель «здоровья» водоема — состояние населяющих его организмов. Поэтому при морском географо-экологическом моделировании биологические данные анализируются в первую очередь.

Многие десятилетия Черное море заслуженно сохраняло славу рыбной «житницы» для значительной части населения Украины, России, Грузии. Однако к 70-м годам уловы основных промысловых рыб резко сократились, а некоторые виды вообще исчезли из-за перелова или других причин.

Для ответа на вопрос, почему происходит деградация популяций морских гидробионтов, или как отразится на их состоянии изменение условий среды в том или ином районе водоема, необходимо знать роль различных его участков в формировании численности этих организмов. Это связано с установлением зон их

⁴ Лебедев В.Л., Айзатулин Т.А., Хайлов К.М. Океан как динамическая система. Л., 1974.

⁵ Айзатулин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М. Океан: активные поверхности и жизнь. Л., 1979; Они же. Океан: фронты, дисперсия, жизнь. Л., 1984.

⁶ Айзатулин Т.А., Лебедев В.Л., Суетова И.А., Хайлов К.М. // Вестн. МГУ. Сер.5, География. 1976. № 3. С.25—35.

⁷ Фащук Д.Я. Географо-экологическая модель морского водоема: Диссертация на соискание степени доктора географических наук. М.: ИГ РАН, 1997; Фащук Д.Я., Чепалыга А.Л., Шапоренко С.И. // Изв. РАН. Сер. геогр. 1997. № 6. С.75—89.



Промысел кефали на северо-западном шельфе Черного моря.

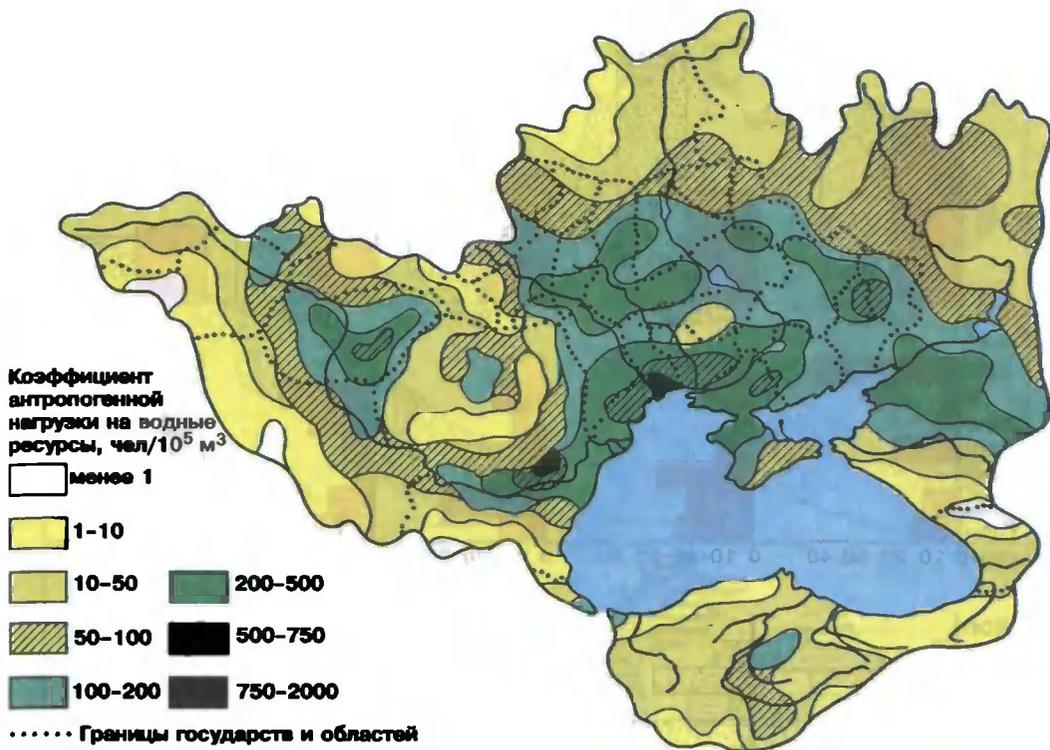
массового скопления — центров концентрации жизни на разных стадиях биологического развития. В экологическом плане такой анализ можно интерпретировать как выделение на акватории моря районов повышенной «уязвимости» промысловых гидробионтов и объектов их питания к внешним воздействиям в процессе биологического развития (онтогенеза).

Экологическую нишу, образовавшуюся в море после исчезновения крупных хищников — скумбрии, крупной ставриды, пелагиды, — заняли пелагические (обитающие в толще вод) планктоноядные рыбы — хамса, шпрот, мелкая ставрида. Рассчитав по многолетним данным распределение суммарной повторяемости высоких концентраций этих рыб на разных стадиях онтогенеза, мы выделили на акватории моря интегральные центры скопления. Летом, например, такими участками оказались прибрежные воды от Одессы до Дуная, удаленные от берега на 50—70 миль. Существование этого центра определяется высокой повторяемостью скоплений взрослых рыб и кормовых объектов. В тридцатимильной зоне вдоль побережья Крыма от Евпатории до Севастополя и в Каламитском заливе в большей степени концентрируются молодь, личинки рыб и кормовой зоопланктон. В 30—50 милях от берегов Северного Кавказа и Грузии от Анапы до Батуми скапливаются в основном икринки, личинки и зоопланктон, у побережья Сухуми — икринки и молодь рыб, а в зоне Батуми — икринки, личинки и взрослые особи рыб.

Составленные карты распределения повышенных концентраций каждого из исследуемых организмов позволяют конкретизировать картину жизни в пелагиали, выделив на акватории Черного моря зоны скопления кормового зоопланктона, хамсы, ставриды, шпрота и мерланга на стадиях икринки, личинки, молоди и взрослой рыбы⁶.

В модель также включены карты

⁶ Фащук Д.Я., Архипов А.Г., Шляхов В.А. // *Вопр. ихтиологии.* 1995. Т.35. № 1. С.34—42.



Антропогенная нагрузка на водные ресурсы водосборов Черного и Азовского морей.

распределения и путей миграций донных промысловых организмов, сведения об оптимальных для существования гидробионтов условиях среды, их толерантности к воздействию загрязняющих веществ и признаках интоксикации. Таким образом, при возникновении в море экстремальной ситуации (авария танкера, залповый сброс с побережья загрязняющих веществ и т.п.) сравнительный анализ полученного набора карт и таблиц дает возможность оперативно оценить, на каких промысловых организмах последствия катастрофы могут отразиться в наибольшей степени.

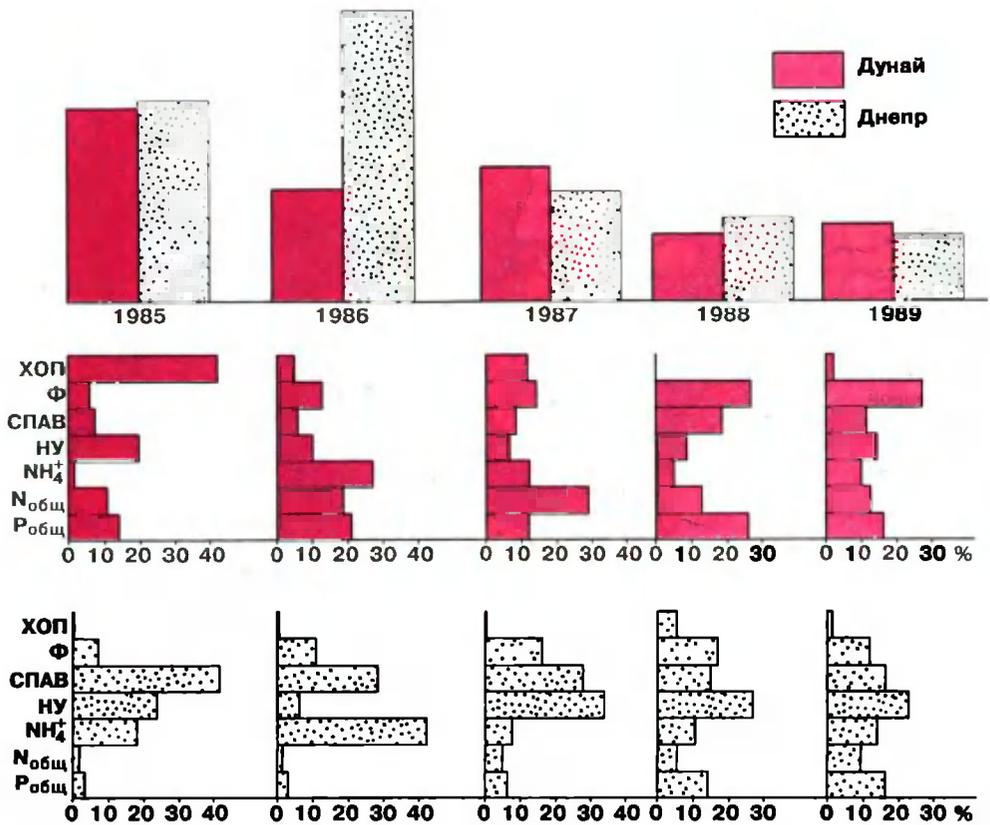
ПРИОРИТЕТНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ

В процессе обобщения биологической информации были выделены природные механизмы, оказывающие

определяющее влияние на условия среды и жизнедеятельность промысловых гидробионтов в Черном море.

Речной сток до начала зарегулирования рек периодически (после паводков в многоводные годы) вызывал на северо-западном шельфе до глубин 40 м цепочку явлений, заканчивающихся ухудшением условий среды. Она включала: формирование обширных зон распреснения, усиление плотностной стратификации, ослабление по этой причине аэрации придонного слоя вод, развитие дефицита кислорода в понижениях рельефа у дна, временный переход придонной гипоксии в отдельных местах в анаэробные условия, что приводило к гибели здесь донных организмов.

Поступление речных вод в северо-западную часть моря определяет развитие еще одной системы явлений, влияющих на среду. «Передаточным» механизмом при этом оказываются синоптические вихревые образования. Весь комплекс связей реализуется следующим образом: возрастают гори-



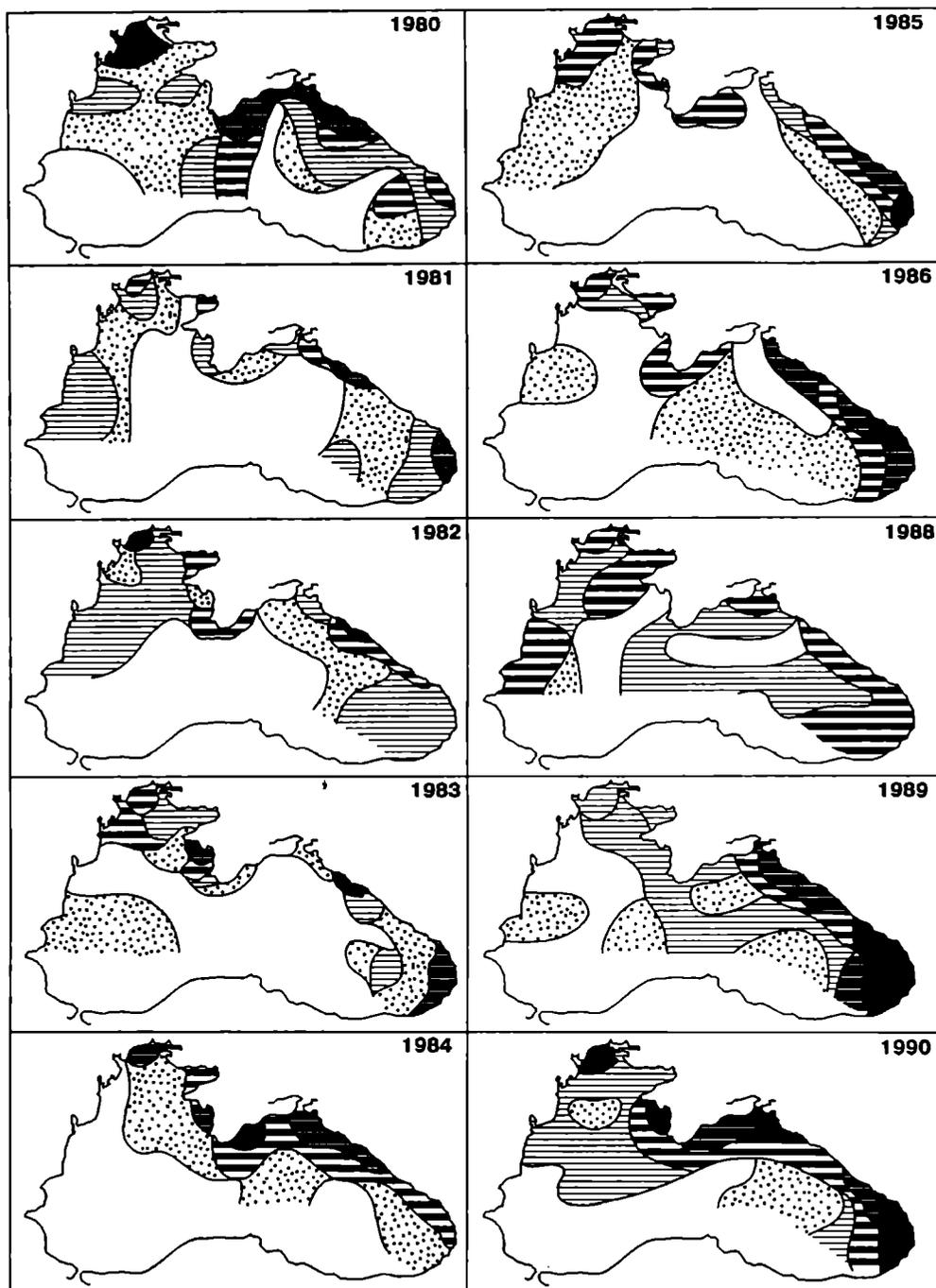
Динамика суммарной удельной антропогенной нагрузки загрязняющими веществами (отн. ед.) и ее структура (%) для вод Дуная и Днепра за 1985—1989 гг. НУ — нефтяные углеводороды, СПАВ — синтетические поверхностно-активные вещества, ХОП — хлорорганические пестициды. $\text{P}_{\text{общ}}$ — общий фосфор, $\text{N}_{\text{общ}}$ — общий азот, NH_4^+ — аммонийный азот, Ф — фенолы.

зонтальные градиенты солености (плотности), теряется устойчивость струи основного черноморского течения, активизируется процесс вихреобразования между течением и берегом, вдоль свала глубин шельфа развиваются антициклонические круговороты, на периферии которых поднимаются обедненные кислородом воды, зона глубинной гипоксии перемещается на шельф в район «промысловых изобат» 70—100 м. На этих глубинах изменяется характер поведения придонных скоплений шпрота — они распадаются и отрываются от грунта.

Водообмен через Босфор оп-

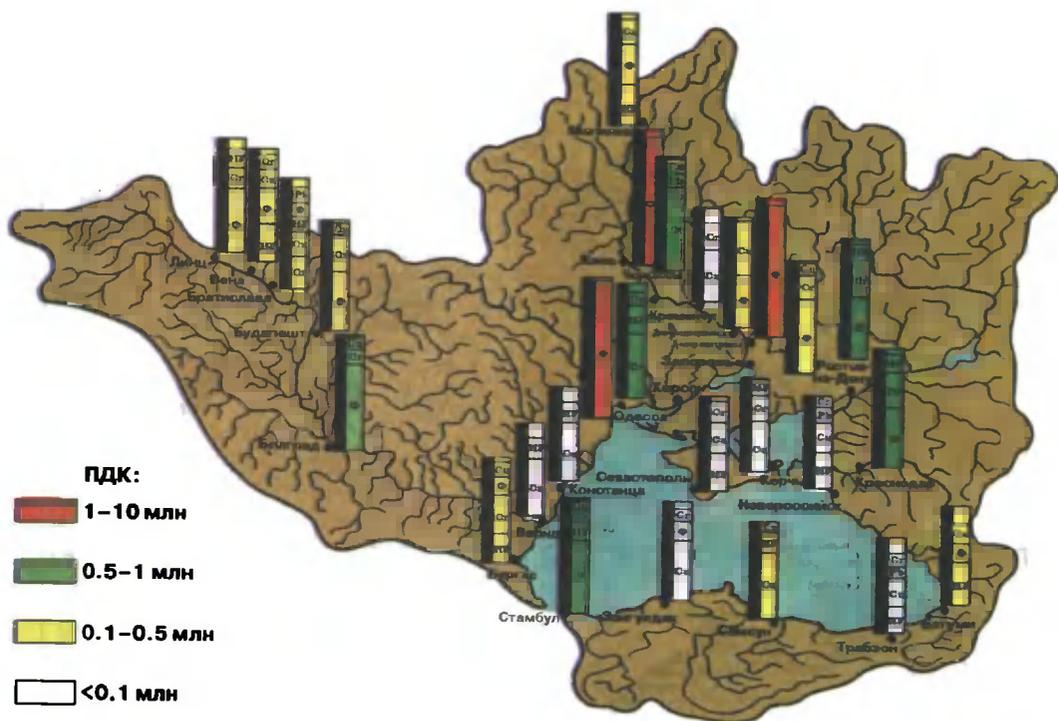
ределяет формирование в Черном море сложной вертикальной структуры вод — положение границ постоянного слоя скачка солености и плотности, холодного промежуточного слоя, а также слоя сосуществования кислорода с сероводородом и др. В свою очередь эти границы оказываются «центрами сгущения жизни» различных форм зоопланктона и определяют его вертикальное распределение в море. Кроме того, водообмен через Босфор — один из главных механизмов формирования солевого баланса Черного моря и поступления в водоем загрязняющих веществ.

Водообмен через Керченский пролив по своей экологической значимости не уступает обмену через Босфор. Возвратно-поступательный характер этого процесса обеспечивает аэрацию придонного слоя в проливе, вынос загрязняющих веществ с его акватории, постоянное пополнение



 до 20%
  до 30%
  до 50%
  до 70%
  до 100%

Повторяемость пленок нефтепродуктов (%) на поверхности Черного моря по данным авиационных наблюдений.



Индекс потенциальной экологической опасности промышленных предприятий побережья для морских акваторий и его структура на водосборах Черного и Азовского морей (шкала диаграмм логарифмическая).

биогенной базы, определяя тем самым существование здесь до последнего времени обширных биоценозов моллюсков.

Из-за поступления азовоморских вод в прибрежной зоне (до Феодосии и Судака) формируются центры скопления зоопланктона и молоди рыб в летний период, так как среднелетние величины биомассы зоопланктона в Азовском море (300–400 мг/м³) в четыре раза выше, чем в Черном.

Водообмен с Азовским морем приводит к формированию на шельфе Черного (в районе Керченского пролива) илисто-песчаных грунтов — наиболее благоприятных для обитания камбалы-калкана. Здесь располагается центр скопления жизни этого вида.

Через Керченский пролив Черное море получало ежегодно по несколько

тонн пестицидов, так как суммарное их содержание в водах Азовского моря (434 нг/л) на порядок больше, чем в черноморских.

Наконец, через Керченский пролив азовская хамса проходит на зимовку в Черное море и кефаль — для нагула в Азовское море.

Атмосферные синоптические процессы также могут вызывать в Черном море комплекс явлений, заканчивающихся ухудшением условий среды. Например, интенсификация циклонической деятельности над акваторией моря усиливает циклонические круговороты в его открытой части. В их центрах увеличиваются скорости восходящих движений вод. Глубинная гипоксия распространяется в фотический слой до горизонтов 50–0 м. Концентрация кислорода снижается здесь до 2 мл/л и менее.

Кроме того, соответствующие типы синоптических ситуаций над акваторией моря влияют на распределение многих других экологически важных характеристик.

Рассмотренные природные про-

цессы были объединены на генеральной карте-схеме. Из легенды, составленной по литературным сведениям и данным автора, определяются их количественные характеристики. Анализ систематизированной таким образом информации параллельно с биологическими данными, собранными для «портрета», позволяет исследователю сократить время оценки возможных природных причин изменения поведения гидробионтов, развития кризисных ситуаций в море или сузить зону их поиска.

ФАКТОРЫ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Многочисленные количественные показатели загрязнения Черного моря, а также крупных рек в свое время были опубликованы⁹. Систематизация этих материалов позволила наглядно представить картину загрязнения и сравнить между собой нагрузки, приходящиеся на различные районы моря.

Из общего количества промышленных и бытовых стоков (около 1 км³), поступавших ежегодно¹ в водоем, 60% давали Днепр, Днестр и Дунай, до 20% — побережье Северного Кавказа, около 10% — район Севастополя и по 5% — побережье Одессы, Южный берег Крыма и берег Грузии. Ассортимент веществ, содержащихся в этих сточных водах, включает почти всю таблицу Менделеева. Наиболее распространены соединения фосфора и азота. Практически весь их сток (80 и 600 тыс. т/год) поступает в море с водами Дуная и Днепра. «Производительность» первой реки по обоим показателям в 12 раз превышает вторую.

⁹ Mandych A.F., Shaporenko S.I. // GeoJornal, 1992. № 6. P.195–206; Мандыч А.Ф., Шапоренко С.И. Прибрежные воды — индикатор хозяйственной деятельности на побережье Черного моря // Природа. 1992. № 6. С.17–24; Фашук Д.Я., Шапоренко С.И. // Вод. ресурсы. 1995. Т.22. № 3. С.282–292; Шапоренко С.И. // Вод. ресурсы. 1997. Т.24. № 3. С.320–327.



Морской петух — большая редкость в улове. Этот вид очень чувствителен к загрязнению и практически не встречается в Черном море.

Из 65 тыс. т нефтепродуктов, поступавших в 1985—1989 гг. в море ежегодно, 80% также приходится на долю крупных рек, причем Дунай поставляет их в 3.5 раза больше, чем Днепр. Концентрации нефтяных углеводородов в речном стоке превышают предельно допустимые в 6—9 раз.

180 тыс. судов общим водоизмещением 12.5 млн т, проходящих за год через Босфор, составляли в водоем до 12 тыс. т соединений нефти — столько же содержится в ежегодном стоке Днепра. В районе Одессы при чрезвычайных происшествиях, связанных с судоходством, а также с авариями на предприятиях побережья,



Медузы — неотъемлемый элемент экосистемы Черного моря.

концентрации нефти в воде могут превышать норму в 150—200, а в портах Туапсе, Новороссийск, Батуми — в 5—8 тыс. раз!

В 30 районах-свалках Черного моря (16 из них расположены на северо-западном шельфе) различными ведомствами ежегодно сбрасывалось в водоем 7—13 млн м³ грунта (в 3—6 раз больше суммарного годового твердого стока Днепра и Южного Буга). Концентрации токсичных тяжелых металлов в захороняемых грунтах могут превышать фоновые значения в 5—200 раз. Содержание полиароматических углеводородов в зоне захоронения (дампинга), в районе Севастополя, в 50—200 раз выше, чем в других портах.

В северо-западной части Черного моря на трех стационарных морских платформах ежегодно добывалось около 500 млн м³ природного газа, а на десяти — велись разведывательные работы. При утечке нефтепродуктов их содержание в воде здесь может превышать норму в 11—17 раз. Кроме того, технологические растворы, применяемые в процессе бурения и эксплуатации скважин, содержат ртуть, свинец и кадмий. Даже через месяц после завершения бурения в донных отложениях у платформ концентрации нефтепродуктов превышают фоновые в 2—7, тяжелых металлов — в 3—30, а полихлорбифенилов — в 2—3 раза.

После слива соединений нефти в море около 50% их количества испаряется в виде легких фракций, 23—28% образует нефтяные агрегаты, 1—5% растворяется в воде и только 15—17% остается в пленочной фазе. Поверхность, покрытая нефтяными пленками, в большинстве случаев не превышает 1% площади Мирового океана, а запас нефтепродуктов в пленках в Северной Атлантике и Тихом океане равен примерно 40 и 7 тыс. т.

Среднегодовые площади акватории Черного моря, занятой пленками в 1981—1991 гг., изменялись от 1448 до 8040 км² (при максимуме в августе 1982 г. — 18562 км²), что соответствовало 0.3—1.8 и 4.4% площади водо-

ема. Среднегодовой запас нефтепродуктов в пленочной фазе колебался за этот период от 58 до 320 т, а максимальная его величина составила около 750 т. К 1991 г. повторяемость нефтяных пленок в районе моря от Дуная до Одессы снизилась от 70—100 до 30—50% случаев в год. В то же время масштабы явления возросли на участках побережья мыс Тарханкут—Севастополь, Сочи—Батуми. В районах Ялта—Феодосия, Анапа—Новороссийск, Туапсе—Сочи в течение всего исследуемого периода сохранялась высокая устойчивость таких зон¹⁰.

Синтетические поверхностно-активные вещества (детергенты) дополняют букет токсикантов, поставляемых морю человеком. Из 20 тыс. т этих соединений, сбрасывавшихся в конце 80-х годов ежегодно в водоем, Дунай приносил 34, Днепр — 26, а промстоки с побережья — 40%. При этом 98% прямых сбросов приходилось на район Одессы. За 1985—1989 гг. средняя концентрация детергентов в водах северо-западного шельфа возросла с 3—5 до 7, а в Каркинитском заливе и в зонах портов — до 8—10 ПДК. В Одесском заливе и порту Одесса этот показатель превышал норму в 18 и 32, а в портах Кавказского побережья Грузии — в 7—9 раз.

Не менее утешительным оказался также анализ поступления в море аммонийного азота, фенолов, пестицидов и тяжелых металлов.

Интегральную картину поступления в реки и отдельные районы водоема загрязняющих веществ дает критерий суммарной удельной антропогенной нагрузки. Значения этого показателя для вод Дуная и Днепра за 1985—1989 гг. практически совпадают. При этом в Днепре преобладала роль аммонийного азота и детергентов. Для обеих рек характерна тенденция снижения суммарной удельной нагрузки к концу 80-х годов: для Дуная — в 2.5, а для Днепра — в 3.3 раза. При этом в Днепре возрастал удельный вес обще-

¹⁰ Фащук Д.Я., Крылов В.И., Иероклис М.К. // Вод. ресурсы. 1996. Т.23. № 3. С.361—376.

го фосфора и общего азота (в 5—7 раз) и фенолов (в 1.5—2 раза), а доля детергентов снижалась в 2.5 раза. В Дунае же вклад этих загрязнителей и фенолов увеличивался в 3—6, а пестицидов — сократился более чем в 20 раз.

Площадь шельфа на северо-западе Черного моря превышает аналогичную в районе Севастополя в 20, у Южного берега Крыма — в 40, у Северного Кавказа и Грузии — в 5 и 10 раз соответственно. Но именно на северо-западном обширном шельфе отмечалась максимальная суммарная удельная нагрузка на прибрежные морские воды загрязняющими веществами. В зоне Южного берега Крыма ее величина снижается в 5, в районе Севастополя — в 9, Грузии — в 16, а на Северном Кавказе — в 18 раз. Для всего черноморского побережья в величине этого показателя преобладает аммонийный азот — до 50—70%. В районе Грузии и Севастополя существенный вклад в загрязнение вносят нефтепродукты (до 30%), а на Северном Кавказе и Южном берегу Крыма — общий фосфор (до 34%).

Все это, естественно, отразилось на состоянии экосистемы Черного моря. В поверхностных водах многих его районов наблюдается превышение норм концентраций основных токсикантов даже по среднелетним значениям. Аналогичные факты отмечаются и в морских донных отложениях, а также, при анализе содержания загрязняющих веществ, в телах гидробионтов. Все случаи таких аномалий даны на генеральной экологической карте-схеме.

Влияние загрязнения моря на животных можно показать на таком примере. Четыре десятка лет назад в Черном море насчитывалось около 1 млн дельфинов. К середине 60-х годов в результате интенсивного промысла осталось 300 тыс. особей. Численность дельфинов, несмотря на прекращение с 1966 г. их промысла, в конце 80-х годов не превышала 50—100 тыс. голов. При этом у многих животных из вырождающейся популяции отмечался

сколиоз (искривление позвоночника), а также — различные кожные заболевания. Именно к таким последствиям приводит отравление пестицидами, ртутью, свинцом и цинком в результате продолжительного пребывания в загрязненной среде и питания рыбой, содержащей токсиканты.

Но не только нефтяное и химическое загрязнение оказывается бичом черноморской экосистемы. На примере Керченского пролива известно, что скорость осадконакопления в зонах дампинга грунтов может достигать 1.2 см/год — на 3 порядка выше естественной.

В результате 30—50 тыс. донных тралений, осуществлявшихся ежегодно в северо-западной части моря при добыче шпрота, вынос мелкодисперсных частиц из районов промысла на мелководье Каркинитского залива — в зону обитания осетровых — в 1979—1985 гг. достигал 70 млн т/год. Кроме того, в этом районе располагалось около десяти месторождений песка, запасы которого превышали 120 млн м³, а ежегодная добыча (5.4 тыс. м³) составляла 59% общего количества, добываемого в Южном экономическом районе. Заиление дна в районах выработки этого сырья происходит со скоростью от 5 до 40 мм/год, превышающей естественную на 2—3 порядка. В результате более 5 тыс. км² площади дна Каркинитского залива заилены, причем толщина слоя ила на большей части зоны достигает 35 см, а на 750 км² — 50 см. Биомасса бентоса на заиленных участках дна сократилась на 95%. Погибшая часть популяции мидий (около 1 млн т) фильтровала в сутки 22—24 км³ воды — половину годового стока Днепра! Кроме того, уничтожены обширные нагульные площади для молоди рыб. Из 25 их видов, считавшихся промысловыми в 60-е годы, сохранили здесь это значение только четыре¹¹.

В первые месяцы после аварии на Чернобыльской АЭС концентрации

¹¹ Зайцев Ю.П. // Гидробиол. журн. 1992. Т.28. № 4. С.3—18.

^{137}Cs в черноморских водах увеличились в среднем в 10—15, а в зоне Крыма — в 100 раз. В настоящее время общий фон радиоактивного загрязнения вод Черного моря восстановился до уровня 60—80-х годов. Тем не менее последствия катастрофы отразились на состоянии морских организмов.

После 1986 г. содержание ^{90}Sr в моллюсках, обитающих в Дунае и Днепре, стало соответственно в 4.4 и 270 раз выше, чем в Волге. Аналогичные показатели по ^{137}Cs в Днепре превышали волжский фон более чем в десять раз. Содержание ^{137}Cs в рыбах Черного моря возросло в среднем в 10—50 раз. Концентрации ^{90}Sr в рыбах, обитающих в Дунае и Днепре, в 2 и 20 раз выше, чем в Волге. Эти же показатели по ^{137}Cs в Дунае и Днепре превышают волжские в 6.5 и 260 раз¹².

Проведенный анализ включает лишь часть антропогенных факторов и их негативных последствий для Черного моря. Более полно (18 показателей) они представлены в легенде генеральной экологической карты-схемы, не вошедшей в статью. Этот документ дает исследователю возможность ориентироваться при оценке экологической ситуации, поиске возможных антропогенных причин изменения состояния популяций морских организмов.

ВОДОСБОРНЫЙ БАССЕЙН И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ

Мало кто задумывается над тем, что Черное море (сравнительно небольшой водоем) с помощью почти 1000 рек поглощает отходы хозяйственной деятельности более 170 млн человек из 14 стран площадью около 2 млн км². Эта территория в четыре раза больше самого Черного моря!

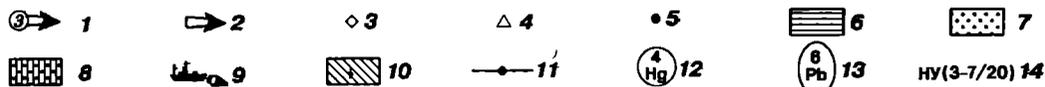
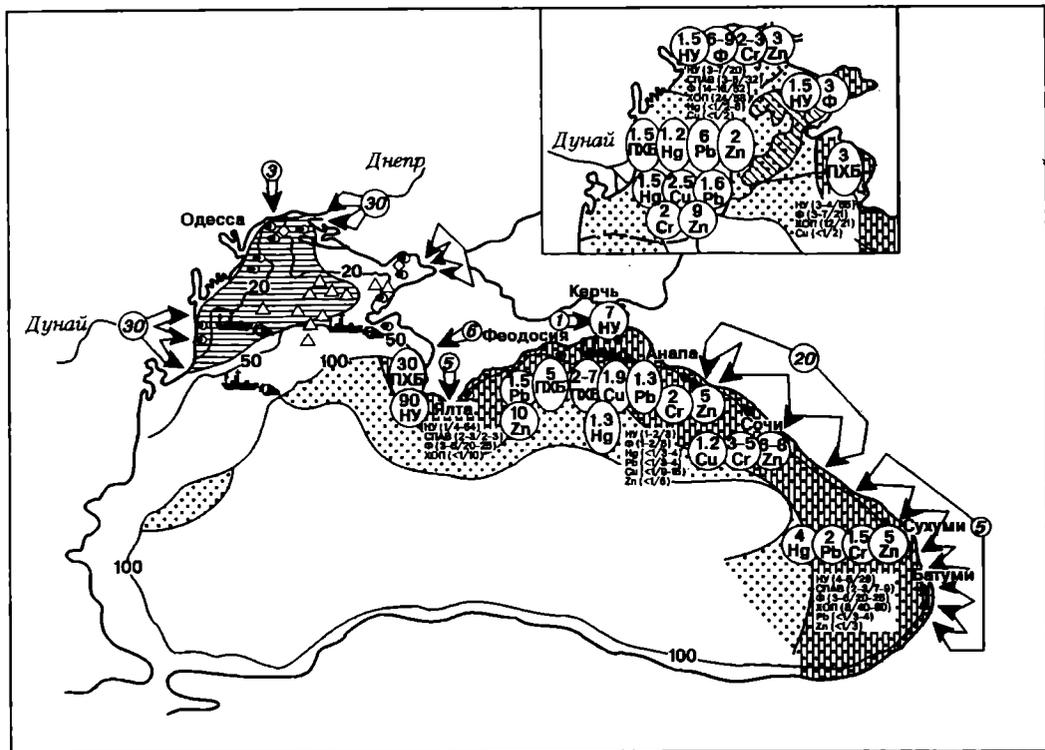
44% бассейна водоема составляет водосбор Дуная, 27 — Днепра, 14 — рек Турции, по 4% — Днестра, Южного Буга и рек Грузии. Водосбор Азовского моря включает бассейны рек Дон и Кубань площадью около 500 тыс. км².

Объемы бытовых и промышленных стоков стран и областей, уровень антропогенной нагрузки на водные ресурсы водосбора косвенно зависят от их площади, а также от численности, плотности и занятости населения, количества крупных промышленных центров. На территории водосбора Дуная живут, например, около 90 млн человек, причем половина этого количества — в Румынии и Югославии; на водосборах Днестра, Южного Буга и Днепра — более 50 млн человек, из которых около 40 — на территории Украины, около восьми — на территории Белоруссии, пяти — на территории России и около 3 млн — в Молдавии. Из 15 областей России, расположенных на водосборах Черного моря, полностью входят в них только шесть: Смоленская, Брянская, Белгородская, Липецкая, Воронежская и Ростовская, а также Краснодарский край. Эта зона также включает половину Пензенской, Саратовской, Волгоградской областей, Калмыкии и более половины территории Ставропольского края. Орловская, Тульская и Тамбовская области входят в водосбор только своими южными районами. Так что первопричины черноморских «болезней» могут скрываться даже на этих, весьма отдаленных от моря уголках суши.

Использование земель под различные сельскохозяйственные угодья определяет возможный характер и интенсивность загрязнения рек. Размещение отраслей промышленности по территории водосборов, качественный и количественный состав токсикантов в сточных водах различных производств отражают их потенциальную опасность для морских акваторий.

Еще один важный показатель для моря — антропогенная нагрузка на водные ресурсы водосборов (отношение плотности населения к величине слоя стока с поверхности).

¹² Поликарпов Г.Г., Зайцев Ю.П., Чудиновских Т.В. и др., Радиоактивное загрязнение Черного моря // Практическая экология морских регионов. Черное море. Киев, 1990. С.46—56; Кузьменко М.И., Паньков И.В., Волкова Е.Н. // Гидробиол. журн. 1993. Т.29. № 5. С.53—60.



Экологическая карта-схема Черного моря (экономическая зона стран СНГ). Числа на изолиниях — глубина, м.

1 — сброс загрязнений с побережья и речным стоком (% от суммы); 2 — сброс загрязнений с коллекторно-дренажными водами; 3 — добыча песка; 4 — добыча газа и разведочное бурение; 5 — захоронение грунтов; 6 — гипоксия и сероводородное заражение; 7 — пленки нефтепродуктов; 8 — зоны устойчивого скопления пленок; 9 — траловый промысел рыбы; 10 — заиление дна; 11 — развитие «красных приливов»; 12 — превышение загрязнений в грунтах над фоновым (числа — количество раз); 13 — превышение содержания загрязнений в гидробионтах над максимально допустимым уровнем (числа — количество раз); 14 — превышение загрязнений в воде над ПДК (числа — количество раз, в числителе — средние значения, в знаменателе — максимальное). ПХБ — полихлорбифенил.

Величина показателя изменяется от 1 до 2000 чел. на 10^5 м^3 . На водосборе Дуная наибольшая нагрузка (а значит, и потенциальная опасность для моря) отмечается на территории Румынии (до 2000 чел./ 10^5 м^3) и Венгрии (до 750 чел./ 10^5 м^3). На водосборах Днепра к таким районам относится вся территория Одесской (с экстремумом 750 чел./ 10^5 м^3), южная половина Николаевской, Днепропетровской и запад Запорожской областей (300—500 чел./ 10^5 м^3).

Интегральный индекс потенциальной экологической опасности промышленного производства на водосборе для морской акватории (суммарное количество предельно допустимых концентраций консервативных токсикантов, содержащееся в сточных водах промышленных предприятий) дает возможность оперативно выполнить прогностические оценки возможного загрязнения моря в случае сброса сточных вод без очистки.

Диапазон значений этого показателя

теля составляет 32 000—12 680 000 (более 12 млн!) ПДК. При этом максимальные величины (10^6 — 10^7) отмечены в трех городах — Одессе (12.68 млн), Киеве (8.36 млн) и Днепропетровске (8.22 млн). В Стамбуле, Белграде, Черкассах, Николаеве, Краснодаре, Ростове-на-Дону он изменяется в пределах 0.5—1 млн. В Батуми, Самсуне, Бургасе, Линце, Вене, Братиславе, Будапеште, Тирасполе, Могилеве, Днепродзержинске, Запорожье, Никополе и Херсоне величины индекса составляют 0.1—0.5 млн.

По содержанию нефтяных углеводородов наиболее опасные для Черного и Азовского морей производства располагаются в Севастополе, Новороссийске, Батуми (доля этого токсиканта в величине индекса здесь составляет более 40%). **По содержанию фенолов** аналогичную опасность представляют производства в Одессе, Стамбуле, Линце, Будапеште, Белграде, Тирасполе, Могилеве, Киеве, Черкассах, Днепродзержинске, Днепропетровске, Запорожье, Никополе, Николаеве, Ростове-на-Дону и Краснодаре. **По содержанию меди** выделяются сточные воды Севастополя, Керчи, Новороссийска, Трабзона, Самсуна, Зонгулдака, Варны, Констанцы, Братиславы, Кременчуга и Днепродзержинска.

Использование представленных здесь сведений параллельно с данными предыдущих разделов позволяет выявить «лежащие на берегу» первопричины развития в море неблагоприятных экологических явлений, установить конкретных виновников морских экологических кризисов. Так, например, аномальное содержание в воде фенолов (до 52 ПДК) послужило причиной закрытия в 1987 г. пляжей на побережье Одессы. Причина такой ситуации могла состоять в сбросе (незафиксированном органами природоохраны) неочищенных сточных вод

лакокрасочных заводов, а также предприятий по производству синтетического волокна, расположенных в этом городе. Именно они определяют первенство Одессы как потенциального источника фенолов.

* * *

Попытка обобщить, проанализировать и наглядно представить в одном исследовании географо-экологические результаты изучения геосистемы Черное море—водосборный бассейн предприятия впервые. Конечно же, она отражает картину, сложившуюся в водоеме на момент получения данных (конец 80-х годов). Сегодняшняя ситуация во многих случаях значительно менее острая в силу реализации ряда природоохранных мероприятий (переноса свалок грунта на большие глубины, запрета донного тралового промысла и др.), а также остановки по экономическим причинам производств на побережье и в бассейне Черного моря.

Автор далек от мысли о совершенстве предложенного обобщения. Учитывая изменчивость факторов внешнего воздействия, необходимо дальнейшее обогащение модели по мере получения новых знаний в различных областях морской науки, а также в процессе анализа географо-экологических аспектов уже имеющейся информации.

Хочется верить, что в ближайшем будущем по предложенной методике будет создана «галерея» географо-экологических «портретов» водоемов Мирового океана. С помощью такого подхода открывается перспектива оперативного получения ответов не только на вопросы «Что? Где? Когда?» — но и решения прогностических задач в рамках системы внешнее воздействие—реакция водоема.

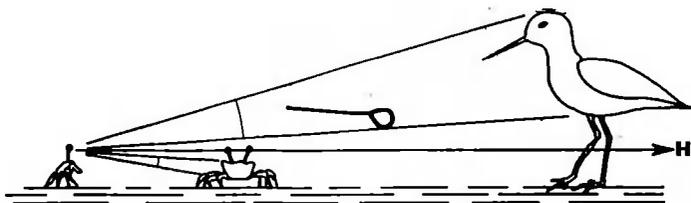
Как крабы-скрипачи отличают врага от своего

К. Н. Несис,

доктор биологических наук
Москва

КРАБЫ-СКРИПАЧИ рода *Uca* — маленькие существа красного или оранжевого цвета — в несметных количествах заселяют илистые отмели и песчаные берега тропических и субтропических стран, неважно — в безлюдных местах или городах. Подвижные и хлопотливые, они постоянно заняты либо сбором пищи (в верхнем слое ила с органическими остатками), либо уходом. Если самец краба-скрипача увидит соплеменника, он начинает усиленно размахивать правой клешней, которая гораздо крупнее левой (у самок клешни одинаковые), двигая ею, как скрипач смычком. Если же увидит врага (птицу, человека), то либо мгновенно ныряет в норку, либо замирает на месте. Но как он отличает врага? Хотя крабы глаза и сидят на длинных стебельках, их оптический аппарат слишком примитивен, чтобы различить число ног или убедиться в наличии клюва. Опыты в природе показали, что крабы не ориентируются ни по форме, ни по величине, ни по скорости перемещения объектов.

Три исследователя с трех континентов — Дж. Лейн из Дьюкского университета (Бофорт, Северная Каролина, США), М. Лэнд из Сассекского университета



Гипотетическая схема видимого горизонта. Объект, часть которого выше линии горизонта H и видится на фоне неба, — враг (птица); объект, не выступающий над линией горизонта, безопасен и скорее всего — свой.

(Брайтон, Англия) и Й. Цайль из Австралийского Национального университета (Канберра) — высказали¹ и экспериментально проверили² гипотезу, согласно которой краб-самец попросту соотносит привлечший его внимание движущийся объект с линией видимого горизонта — своего, крабьего.

Горизонт краба — это плоскость, проходящая через середину глаза, когда краб стоит на выпрямленных ногах и с вытянутыми вертикально глазами стебельками. Если объект выше горизонта и рисуется на фоне неба — это враг, и нужно замереть или спрятаться, а если ниже и рисуется на фоне грунта — значит, свой, и нужно махать клешней. По результатам

полевых наблюдений на побережье Северной Каролины исследователи определили, как крабы воспринимают движущиеся объекты.

В лабораторных опытах краб помещался на подставку в центре стеклянного сосуда, вокруг которого медленно вращали на белом фоне и расстоянии 22 см картинки разной высоты (их угловой размер для краба — от 1 до 8°), причем так, чтобы краб мог видеть их либо ниже, либо выше плоскости своего тела под углом до 20°. Отмечали его реакции. Затем расстояние до картинок уменьшали до 11 см — таким образом устанавливали, как краб определяет расстояние до предмета.

Оказалось, что краб не боится предмета, который целиком или большей частью видится на фоне грунта, ниже линии крабьего горизонта. На расстоянии около 30 см от предмета краб-самец начинает махать клеш-

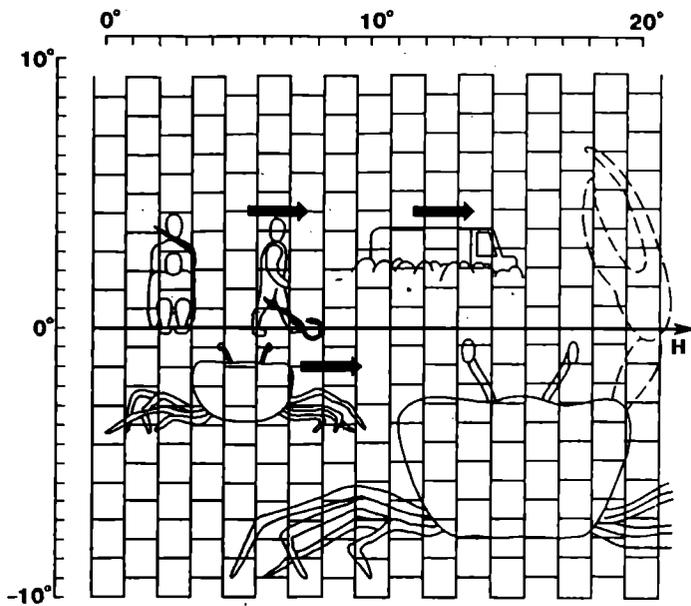
¹ Land M.F., Layne J. // J. Comp. Physiol. 1995. V.177A. P.81—103.

² Layne J., Land M., Zeil J. // J. mar. biol. Assoc. U.K. 1997. V.77. № 1. P.43—54.

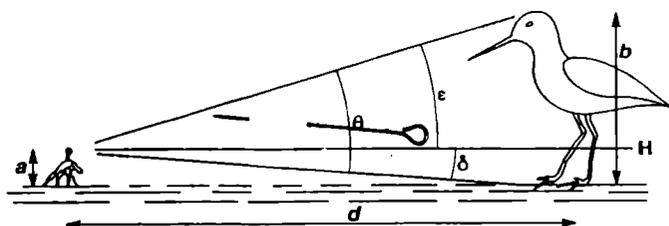
ней. Когда же предмет приблизится на 10–15 см, самец уже видит, кто это: самка — ухаживание усиливается, другой самец — начинается подготовка к драке.

Всех движущихся объектов, которые крупнее его, краб пугается, и тем больше, чем они выше. Их высоту он определяет не абсолютно, а относительно, по углу зрения. Предмета, видимого под углом 1° , краб совсем не боится, а предмет, видимый под углом 8° , вызывает реакцию бегства у 90% крабов. Если весь предмет или большая его часть выше крабьего горизонта, нужно спастись. Поскольку угол зрения — это высота предмета, деленная на расстояние до него, то расстояние краб может определить по отношению собственной высоты (на цыпочках и с вытянутыми вверх глазами) к углу, под которым он видит часть предмета (скажем, птицы), расположенную ниже линии горизонта. Собственно говоря, человек точно так же определяет высоту и расстояние до удаленного предмета. Но краб боится и летящей птицы, и автомобиля, колеса которого не видны. Очевидно, определение дистанции до врага важно, лишь когда он очень близко.

Интересно, что краб-самец машет клешней не вперед-назад, а вверх-вниз, и притом вытянувшись на ножках как только возможно, так что какое-то время самка видит его клешню на фоне неба. Она не впадает в панику (ведь большая часть тела самца остается ниже ее горизонта), но приостанавливается, чтобы рассмотреть, что это такое, не опасно ли. Самцу же только и надо, чтобы самка не промчалась мимо, а внимательно на него поглядела. Вдруг да и увидит, как он хорош собой.



*Опасные и безопасные объекты с точки зрения самца краба-скрипача (результаты полевых наблюдений над *Uca pugilator*). Каждый квадратик — поле зрения одного омматидия (зрительного элемента фасеточного глаза краба), H — линия видимого горизонта. Вверху: человек, поднимающийся с пляжем дороге. Внизу: слева — самка краба на расстоянии, с которого самец впервые опознает ее и начинает махать большой клешней (показана пунктиром), справа — самец на расстоянии, с которого он понимает, что это не самка и пора готовиться к драке.*



Определение крабом размера объекта и расстояния до него: a, b — абсолютные высоты краба и птицы; d — дистанция между ними; θ , ϵ , δ — видимые крабом угловые размеры птицы и ее частей, находящихся выше и ниже линии крабьего горизонта. Краб определяет дистанцию до врага d по отношению a/δ . (Layne et al. // J. mar. biol. Assoc. 1997. V. 77. № 1.)

Игорь Иванович Сикорский

В. Р. Михеев



Вадим Ростиславович Михеев, кандидат технических наук, профессор, старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН, ведущий конструктор первой категории Московского вертолетного завода им.М.Л.Миля, ведущий научный сотрудник Политехнического института. Область научных интересов — история авиации. Автор девяти книг, в том числе «Вертолеты дореволюционной России» (М., 1992), «Академик Борис Николаевич Юрьев» (М., 1993), «Крылья Сикорского» (в соавторстве с Г.И.Катышевым) (М., 1993).

НАШ соотечественник, один из крупнейших авиаконструкторов XX в., Игорь Иванович Сикорский на глазах одного поколения прожил несколько удивительных жизней и в каждой был по-своему велик. С его именем связаны разные и притом неожиданные достижения конструкторской мысли, всякий раз выводившие мировую авиацию на новый уровень.

Первые полеты российских аэропланов, первые оригинальные конструкции многомоторных тяжелых самолетов, первые «летающие лодки» и амфибии, вертолеты классической одновинтовой схемы и еще многое другое стало возможным благодаря таланту Сикорского. После революции он с болью в сердце покинул Россию. Значительная часть того, что он сделал, послужила пользе и славе США. Существующая там и по сию пору фирма Сикорского считается ведущим производителем вертолетов. Но до конца жизни Сикорский оставался патриотом России.

ПРИЗВАНИЕ

Он появился на свет 25 мая (6 июня) 1889 г. в Киеве и стал пятым ребенком в семье доктора медицины, профессора Университета им.Св.Владимира Ивана Алексеевича Сикорского. Старший Сикорский, получивший мировую известность благодаря многочисленным трудам по психиатрии, всеобщей психологии и нервно-психиатрической гигиене, оказался замешанным в скандальном «деле Бейлиса». В 1913 г. в Киеве расследовалось странное убийство мальчика. Власти обратились за помощью к Ивану Алексеевичу как психиатру. Тот скрупулезно изучил все обстоятельства и



Игорь Иванович Сикорский (1889—1972) с моделью вертолета «летающий кран». Снимок сделан в 1963 г.

решился предположить, что это ритуальное убийство. Последствия известны — волна антисемитизма и бурная реакция на это русской интеллигенции. Старший Сикорский заболел и больше уже не вернулся в университет.

Игорь Иванович к тому времени был сложившимся человеком, ему было 24 года, и все его душевные силы были направлены на создание первого в мире многомоторного самолета. Отец воспитывал его по собственной методике и передал ему преданность Церкви, Престолу и Отечеству, помог развить непоколебимую волю и уникальное упорство в достижении цели.

Мать будущего авиаконструктора, Мария Стефановна (в девичестве Темрюк-Черкасова), имевшая, как и отец, медицинское образование, привила ма-

ленькому Игорю любовь к музыке, литературе и искусству. Это от нее впервые услышал он о проектах летательных аппаратов великого Леонардо да Винчи. Любимой книгой стал роман Жюль Верна «Робур-завоеватель», где рассказывалось о гигантском воздушном корабле — прообразе вертолета. Полет на воздушном корабле однажды приснился ему и стал мечтой всей жизни.

Игорь Иванович начал учиться в 1-й Киевской гимназии; но вскоре пожелал пойти по стопам старшего брата и поступил в Морской кадетский корпус в Петербурге. Ему нравилась среда морских офицеров, здесь он нашел настоящих друзей. Однако с каждым годом он все яснее осознавал свое истинное призвание. По окончании общеобразовательных классов он

покидает корпус с целью поступить в высшее техническое заведение и стать инженером. Но шел 1906 год, российские учебные заведения переживали последствия революционных событий и фактически не работали. Чтобы не терять времени, молодой Сикорский уезжает учиться в Париж, в Техническую школу Дювиньо де Лано.

Через год он возвращается и поступает в Киевский политехнический институт. Однако его так захватывает идея построить летательный аппарат, что он забывает об учебе. Диплом инженера он получает в 1914 г. «Honoris Causa» в Петербургском политехническом институте за создание многомоторных воздушных кораблей.

Как и многие другие пионеры авиации, Сикорский начинал с летающих моделей. Первую свою модель он построил еще в двенадцатилетнем возрасте. Это был вертолет — его уже тогда заинтересовали вертикально взлетающие аппараты. В 1908—1909 гг. он консультируется у ведущих отечественных и зарубежных специалистов, посещает Францию и Германию, покупает двигатель и необходимые части конструкции. А в июле 1909 г. во дворе своего киевского дома двадцатилетний студент завершает сборку первого в России вертолета, доведенного до стадии натурных испытаний. Однако подъемная сила его была еще недостаточна. Ранней весной следующего года Сикорский строит по той же схеме второй вертолет. Этот винтокрылый аппарат оказался способен поднимать свой вес. Одновременно Сикорский удачно экспериментирует с аэросанями собственной конструкции. На них, как и на вертолетах, он учится проектировать и строить воздушные винты, а затем направляет всю свою энергию на создание более перспективных в то время машин — самолетов.

Вместе с другим студентом Киевского политехнического института Ф.И.Былинкиным на Куреневском аэродроме в Киеве Сикорский сооружает сарай-мастерскую, где появляется на свет их первый самолет — маленький

двухстоечный биплан БиС-1. Увы, мощности двигателя не хватало для взлета, он мог только подпрыгивать. Сикорскому удалось впервые подняться в воздух только 3 июня 1910 г. на другой машине — БиС-2 (С-2). Капризные двигатели «Анзани» не позволили этому самолету, как и последовавшим за ним модификациям, стать по-настоящему пилотируемыми машинами. Но молодой конструктор не терял надежды. Семья поддерживала его во всех начинаниях.

Успех пришел, когда весной 1911 г. был построен пятый самолет Сикорского — С-5, который превосходил предшествующие по размерам, мощности и надежности силовой установки. На этом биплане Сикорский сдал экзамен на звание пилота, установил четыре всероссийских рекорда, совершил показательные полеты и даже покатал пассажиров. В начале сентября 1911 г. происходили военные маневры. Талантливый молодой конструктор принял в них участие и продемонстрировал превосходство своего самолета над машинами иностранных марок. Примерно в это же время он построил в собственной мастерской несколько легких самолетов по заказам своих друзей — киевских студентов. Ему нравилось быть не только конструктором и неизменным испытателем своих самолетов, но и обучающим летчиком. Газеты и журналы заговорили об авиамастерских и летной школе киевского студента, его называли «русским Фарманом».

В том же 1911 г. Сикорский разработал свой шестой самолет (С-6) с более мощным двигателем и трехместной кабиной. На нем он установил мировой рекорд скорости в полете с двумя пассажирами. Работая над улучшением аэродинамических характеристик этой модели, конструктор построил небольшую аэродинамическую лабораторию. Модернизированный самолет С-6А заслужил Большую золотую медаль Московской воздухоплавательной выставки в апреле 1912 г., а незадолго до этого Русское техническое общество наградило Сикорского Почетной медалью «за полезные труды



На своем первом самолете. 1910 г.

по воздухоплаванию и за самостоятельную разработку аэроплана своей системы, давшей прекрасные результаты».

КАРЬЕРА

Недоучившийся студент получил сразу два весьма лестных предложения из Петербурга: во-первых, его приглашали на должность главного инженера учреждаемой военно-морской авиации; во-вторых, — на должность конструктора только что образованного воздухоплавательного отделения акционерного общества «Русско-Балтийский Вагонный Завод» (РБВЗ). Он принял оба и переехал с группой ближайших сотрудников из Киева в столицу империи.

Благодаря такому стечению обстоятельств Сикорскому удалось внести большой вклад в создание особого рода войск — авиации русского военно-морского флота, и он по праву может считаться одним из его основателей. Однако, прослужив всего год, он уво-

лился с флотской службы, отдав себя полностью работе на РБВЗ. С лета 1912 г. он стал на этом заводе и главным конструктором, и управляющим. Большое влияние на судьбу Игоря Ивановича оказал выдающийся организатор отечественного машиностроения, председатель правления РБВЗ М.В. Шидловский. Он сделал ставку на двадцатитрехлетнего студента и не ошибся. На РБВЗ один за другим появляются новые самолеты Сикорского — бипланы и монопланы, — которые вызывают неизменное восхищение как у широкой публики, так и у специалистов и приносят России славу одной из ведущих авиационных держав.

Создание каждого самолета означало важный рывок вперед. В течение только 1912 и 1913 гг. благодаря таланту и труду Сикорского в России появились: первый гидросамолет; первый самолет, проданный за рубеж; первый специально спроектированный учебный самолет; первый серийный самолет; первый самолет монококовой конструкции; первый пилотажный самолет и т.д. Три самолета конструктора



Николай II поднимается на борт самолета «Русский витязь» конструкции Сикорского. 1913 г.

ции Сикорского вышли победителями на международных конкурсах военных аэропланов, доказав в упорной борьбе свои преимущества перед новейшими иностранными самолетами. Разведчик С-10 имел полтора десятка модификаций, которые к началу первой мировой войны составляли основу морской авиации Балтийского флота. Маневренный С-12 также строился серийно и затем успешно применялся на фронте. Одновременно на заводе было налажено лицензионное производство некоторых типов иностранных самолетов. Таким образом, Сикорский по праву может быть причислен к основателям отечественной авиационной промышленности.

«РУССКИЙ ВИТЯЗЬ» И
«ИЛЬЯ МУРОМЕЦ»

На российской земле Сикорскому было суждено дать жизнь одному из самых своих величайших творений. Еще в 1911 г., после вынужденной посадки, едва не стоившей ему жизни, Игорь Иванович задумался о путях повышения надежности самолетов и

направлениях их дальнейшего развития. К середине следующего года им была уже досконально разработана концепция перспективного самолета, специально предназначенного для эксплуатации на бескрайних российских просторах в условиях нашего тяжелого климата.

В соответствии с этой концепцией аппарат проектировался многомоторным, с экипажем из нескольких человек, был предусмотрен и доступ к основным частям конструкции для ремонта в воздухе. Возможность такого гигантского самолета отвергалась в то время большинством авиационных авторитетов. Тем не менее председатель правления РБВЗ поддержал своего двадцатитрехлетнего главного конструктора. И в марте 1913 г. был построен первый в мире четырехмоторный воздушный гигант.

Сначала он получил название С-9 «Гранд», а после некоторых доработок — «Русский витязь». Молва о воздушном гиганте покатила по России. В Европе удивлялись и не верили. Император Николай выразил желание осмотреть его. Самолет перегнали в

Красное Село, царь поднялся на борт. Вскоре Сикорскому передали от него памятный подарок — золотые часы. Самолет, превосходивший по размерам и взлетному весу все до сих пор построенные, положил начало новому направлению в авиации — тяжелому самолетостроению. Он стал прообразом всех последующих пассажирских авиалайнеров, тяжелых бомбардировщиков и транспортных самолетов.

Создание многомоторных самолетов-гигантов принесло Сикорскому мировую славу. Он стал национальным героем России. Машины, аналогичные «Русскому витязю», появились за рубежом только через несколько лет. Дальнейшее развитие конструкции «Русского витязя» — четырехмоторный «Илья Муромец». Он поднялся в воздух уже в декабре того же 1913 г. Переставленный на поплавки, он оставался до 1917 г. самым большим гидросамолетом на свете. На РБВЗ впервые в мире началось серийное производство воздушных гигантов.

В годы первой мировой войны «Муромцы» эффективно использовались в качестве тяжелых бомбардировщиков и дальних разведчиков. Из них была сформирована «Эскадра воздушных кораблей» — первое соединение стратегической авиации. Сикорский сам участвовал в организации эскадры, готовил экипажи и отрабатывал тактику их боевого применения. Он проводил много времени на фронте, наблюдая свои самолеты в действии, и вносил необходимые изменения в их конструкцию. Всего было построено 85 «Муромцев» шести основных типов. Каждый тип имел ряд модификаций.

Помимо тяжелых бомбардировщиков, Сикорский создал в 1914—1917 гг. легкие истребители, морской разведчик, легкий разведчик-истребитель, двухмоторный истребитель-бомбардировщик и штурмовик, т.е. практически полный парк самолетов всех типов, использовавшихся в мировой войне. Кроме того, под руководством Игоря Ивановича разрабатывались и серийно строились авиационные двигатели, оборудование и вооружение, возводи-

лись новые заводы для их производства. Формировалась могучая многопрофильная отечественная авиационная промышленность. Всего в России в 1909—1917 гг. Сикорским было создано два с половиной десятка базовых моделей самолетов (не считая их модификаций и совместных разработок), два вертолета, трое аэросаней и один авиадвигатель.

Правительство ценило человека, умножавшего мощь и славу страны. В 25 лет Сикорский стал кавалером ордена Св.Владимира IV степени, равного по значению ордену Св.Георгия, но в гражданской сфере. К 28 годам он уже был национальным героем. Но все это не вскружило ему голову. Он был полон творческих планов и далек от мирской суеты.

ЭМИГРАЦИЯ

Революция круто изменила судьбу знаменитого конструктора. С середины 1917 г. все работы на РБВЗ практически остановились. Ни один из самолетов новой конструкции (С-21 — С-27) не был достроен. Производство лихорадило митинги и забастовки. Солдаты на фронте и рабочие в тылу начали расправляться с неугодными им офицерами и инженерами. Сикорский был известен своей преданностью престолу. Ему угрожали и раньше. Но с приходом к власти большевиков улетучились последние надежды на восстановление прежних порядков. Игорь Иванович принимает приглашение французского правительства продолжить работу на заводах союзников. Оставив молодую жену и только что родившуюся дочку Татьяну на попечении родных, он отплывает в марте 1918 г. из Мурманска за границу.

Первая мировая война окончилась раньше, чем Сикорский успел построить французский вариант «Илья Муромца». Во Франции работы больше не было. Россия охвачена гражданской войной. В 1919 г. Игорь Иванович принимает решение переехать в США, где, как он считал, существует больше перспектив для тяжелого самолетостроения.

Сикорский на артиллерийской площадке первого «Ильи Муромца». 1913 г.

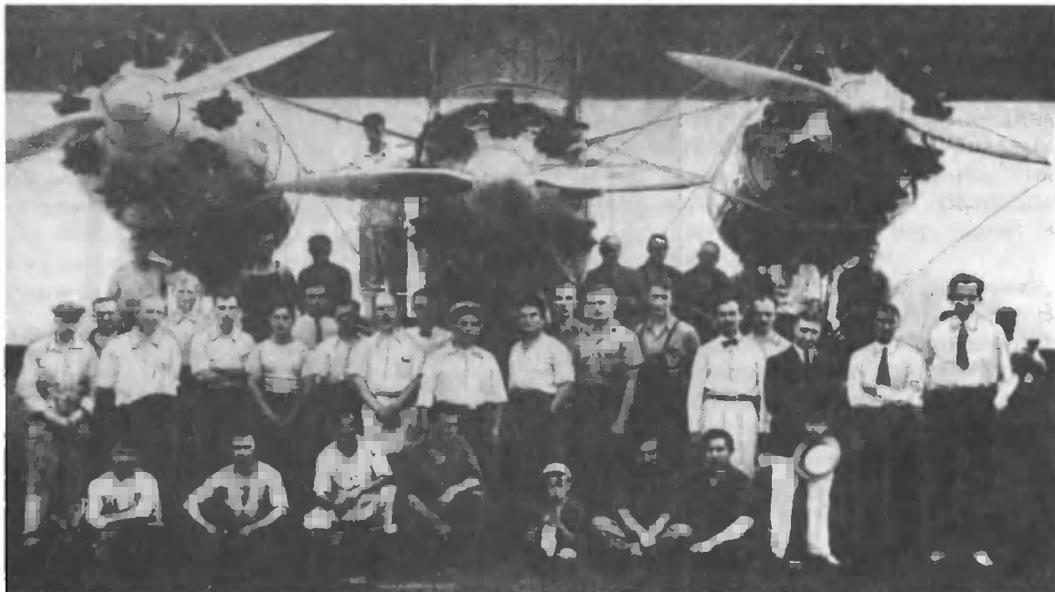


Однако за океаном, как и в послевоенной Европе, авиапромышленность стремительно сокращалась. Сикорский, прибывший в Нью-Йорк, оказался без средств к существованию и был вынужден работать учителем вечерней школы. В 1923 г. ему удалось сколотить компанию русских эмигрантов, причастных к авиации, — инженеров, рабочих и летчиков. Они составили костяк учрежденной в Нью-Йорке маленькой самолетостроительной фирмы «Сикорский Аэроинжинеринг Корпорейшн». Жизнь как-то налаживалась. Из СССР приехали две сестры и дочка. Жена эмигрировать отказалась, и Игорь Иванович вступил во второй брак с Елизаветой Алексеевной Семеновой. Брак был счастливым. Один за

другим появились четыре сына: Сергей, Николай, Игорь и Георгий.

Первый построенный в эмиграции самолет Сикорского S-29 был собран в 1924 г. в помещении курятника, принадлежавшем одному из основоположников русской корабельной авиации В.В.Утгофу. Помощь «русской фирме» оказали многие наши эмигранты. С.В.Рахманинов одно время даже значился вице-президентом корпорации.

Этот двухмоторный биплан стал самым крупным в Америке и одним из лучших в своем классе. Он сразу получил мировую известность, что послужило неприятным сюрпризом для большевиков, не ожидавших нового успеха от ненавистного им «царского



Среди авиаторов русской диаспоры. 1926 г.

крестника и черносотенца». «Авиационная белогвардейщина» — так отозвалась советская пресса на сообщения о возникновении в США «русской фирмы». Имя Сикорского было предано политической анафеме.

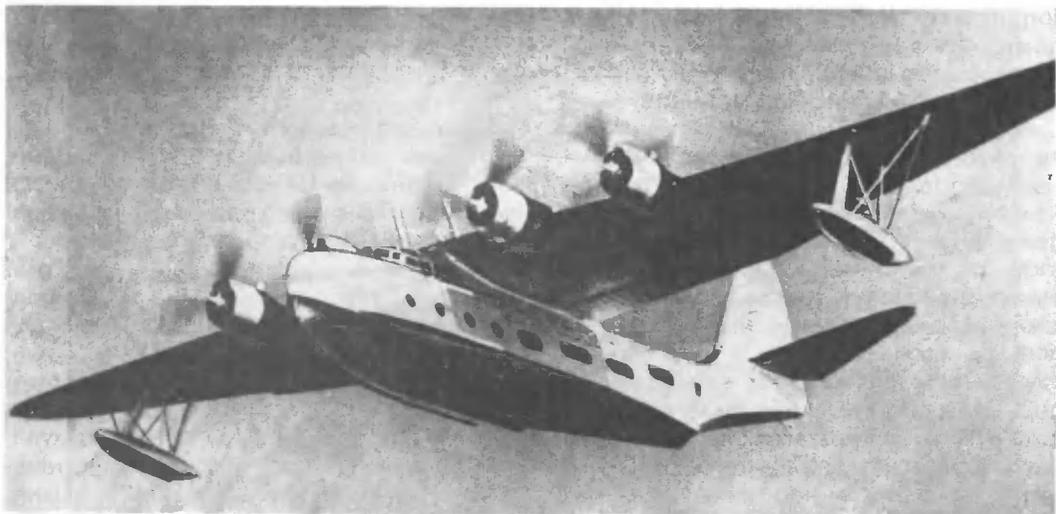
Но шли 20-е годы. Время тяжелых транспортных самолетов тогда еще не наступило — спроса на них почти не было. Сикорскому пришлось переключиться на легкую авиацию. Сначала появился одномоторный разведчик, затем одномоторный пассажирский, авиетка и двухмоторная амфибия. Все самолеты (S-31—S-34) удалось продать, однако опыт показал, что американский самолетный рынок уже хорошо обеспечен легкими машинами. Конструктор вновь стал пытаться счастья на тяжелых бипланах. На этот раз они предназначались для перелета через Атлантику. Создателей первого трансокеанского самолета в случае успеха ждала не только мировая слава, но и солидные заказы. Узнав об этом, русские эмигранты, рассеянные по всему свету, восприняли строительство гиганта S-35 как важнейшее национальное дело и стали слать Сикорскому со всего света свои скромные сбережения. В дальнейшем предпо-

лагалось использовать такие самолеты для формирования национальной русской авиакомпания под эгидой престолонаследника — великого князя Кирилла Владимировича. Увы, Сикорского ждала неудача: S-35 разбился при таинственных обстоятельствах в момент старта. А когда был построен следующий гигант, трансатлантический перелет был уже совершен. Этот самолет, как и предыдущие, остался лишь в нескольких экземплярах.

Для развития фирмы требовалось создать машину, пользующуюся широким спросом. Ею стала десятиместная двухмоторная амфибия. Газеты писали, что амфибия S-38 «произвела перелет в авиации», что она летала, приземлялась и приводнялась там, «где раньше бывали только индейские пироги да лодки охотников». О надежности и безопасности амфибии ходили легенды.

«СИКОРСКИЙ АВИЭЙШН»

«Русская фирма» Сикорского, переименованная в «Сикорский Авиэйшн Корпорейшн», получила очень много заказов и надежно «встала на крыло». Фирма перебралась из Лонг Айленда, где арендовала помещения,



Последний самолет Сикорского — S-44. 1937 г.



Жена Елена Алексеевна с сыновьями: Игорем (сейчас сенатор штата Коннектикут), Георгием (инженер-электронщик), Николаем (известный скрипач), Сергеем (ныне вице-президент «Сикорский Эйркрафт»).



на собственный завод в Стратфорд, близ Бриджпорта (штат Коннектикут). В июне 1929 г. ее приняли в мощную корпорацию «Юнайтед Эйркрафт энд Транспорт» (ныне «Юнайтед Текнолоджиз»), в составе которой она существует и сегодня. Потеряв самостоятельность, фирма Сикорского получила

накануне великой депрессии надежное экономическое обеспечение. Интересно заметить, что в 1929 г. на трех из пяти самолетостроительных фирм, входивших в корпорацию («Сикорский», «Хамильтон» и «Чанс-Воут»), главными конструкторами работали «белоземляне».

Сикорский испытывает свой вертолет VS-300. 1939 г.

«Сикорский Авиэйшн» быстро набирала силу, увеличивался ее штат. Основной ее творческий костяк по-прежнему составляли эмигранты из России. Надежной опорой Сикорского, его первым помощником и заместителем был выдающийся конструктор и ученый, аэродинамик Михаил Евгеньевич Глухарев. Талантливым конструктором и организатором был и его младший брат Сергей. Кроме братьев Глухаревых рядом с Сикорским прошли всю эмигрантскую жизнь талантливые инженеры Михаил Бьювид, Борис Лабенский и Николай Гладкевич. Про своих ближайших друзей и сподвижников главный конструктор говорил: «Они готовы умереть за меня, так же как я за них». Долгое время шеф-пилотом фирмы работал легендарный летчик Борис Васильевич Сергиевский. Руководителями различных служб были Вячеслав Кудрявцев, барон Николай Соловьев, Георгий Мейрер, Владимир Бари, Леонид Лапин и многие другие известные в Америке и за ее пределами инженеры и организаторы производства.

«Русская фирма» Сикорского стала Меккой для эмигрантов. Здесь нашли работу и получили специальность многие выходцы из бывшей Российской империи, ранее к авиации отношения не имевшие. Кадровые офицеры флота, такие как С.де Боссет, В.Качинский и В.Офенберг, потрудившись рабочими и чертежниками, возглавили различные подразделения фирмы. Простым рабочим на фирме был адмирал Б.А.Блохин. Известный историограф белого движения, казачий генерал С.В.Денисов готовил свои исторические исследования, работая на «Сикорский Корпорейшн» ночным сторожем. Некоторые из русских эмигрантов впоследствии покинули фирму и прославили свои имена на других предприятиях и в других областях. Из фирмы Сикорского вышли известные авиационные ученые — преподаватели

американских вузов Н.А.Александров, В.Н.Гарцев, А.А.Никольский, И.А.Сикорский и др. Барон Соловьев создал на Лонг Айленде собственную авиационную фирму. Сергиевский основал в Нью-Йорке компанию по конструированию вертолетов. Мейрер организовал производство на другой «русской» самолетостроительной фирме «Северский». В.В.Утгоф стал одним из организаторов авиации береговой охраны США. Первый священник заводской церкви отец С.И.Антонюк получил пост архиепископа Западной Канады. Руководитель макетного цеха фирмы Сергей Бобылев основал крупную строительную фирму. Кавалерийский генерал К.К.Агоев организовал в Стратфорде известную на всю Америку конюшню племенных скакунов.

Существование в Стратфорде фирмы Сикорского способствовало появлению в этом городе мощной русской колонии. Изгнанники из нашей страны селились поближе к своим. Многие из них никогда на «Сикорский Корпорейшн» не трудились, но тем не менее всегда с большим почтением относились к главе и основателю этого предприятия. Игорь Иванович до конца жизни оставался одним из самых уважаемых жителей города. Он много сделал для колонии соотечественников. Эмигранты открыли клуб, школу, построили православный храм Св.Николая и даже создали русскую оперу. С тех пор некоторые районы Стратфорда носят русские названия: Чураевка, Русский пляж, Дачи и т.п. Интересно отметить, что некоторые эмигранты, жившие в этом городе и врашавшиеся только в русской среде, так и не выучили английского.

АМФИБИИ СИКОРСКОГО

Сикорский создал удачные серийные амфибии: пятиместную «летающую яхту», шестнадцатиместную амфибию и сорокапятиместный «воздушный клипер» S-40. Четырехмоторные самолеты этого типа стали первыми серийными тяжелыми пассажирскими авиалайнерами, которые эксплуатировались на



Вертолет S-55, первым совершивший трансатлантический перелет. 1952 г.

регулярных авиалиниях большой протяженности. При испытаниях первого «клипера», Сикорский, пройдя в пассажирский салон, неожиданно обнаружил, что наяву видит полное повторение того сна, который приснился ему в детстве. Сон сбылся через 30 лет!

На амфибиях и «летающих лодках» Сикорского произошло становление всемирно известной авиакомпании «Пан Америкэн». Она же и заказала авиаконструктору многомоторные пассажирские авиалайнеры, предназначенные для регулярных трансокеанских перевозок. Первая элегантная «летающая лодка» S-42 поступила в 1934 г. на пассажирскую линию, связывающую оба материка Америки, вторая в 1935 г. открыла рейсы через Тихий Океан. В 1937 г. на серийных самолетах этого типа начались и первые пассажирские перевозки через Атлантику. Так «летающая лодка» Сикорского стала первым самолетом, надежно

соединившим континенты. На основе четырехмоторной S-42 конструктор создал двухмоторную амфибию меньшего размера, широко эксплуатировавшуюся в разных частях света и приобретенную многими странами, в том числе и Советским Союзом. Закупленная «белоэмигрантская» амфибия даже снималась в знаменитом кинофильме «Волга-Волга», символизируя успехи социалистического строительства.

Последним самолетом Сикорского стала большая четырехмоторная «летающая лодка» S-44, созданная в 1937 г. Она была вполне хорошим самолетом, но время «воздушных клиперов» безвозвратно прошло, гигантская амфибия S-45 так и осталась в проекте. Заказы на лодки и амфибии стремительно падали. Правление «Юнайтед Эйркрафт» даже приняло решение слить фирму «Сикорский» с фирмой «Чанс Воут». Чтобы восстановить самостоятельность, пятидесятилетнему конструктору пришлось срочно «менять жанр», искать более перспективную нишу. И здесь ему вновь, как и раньше, помогла поддержка старых

Самый тяжелый вертолет с поршневыми двигателями — S-56.



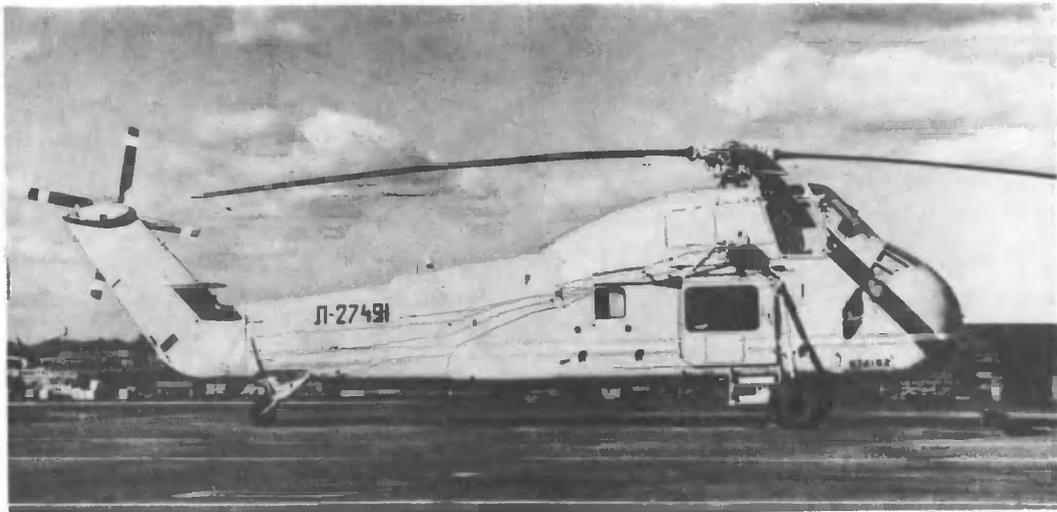
соратников, русских эмигрантов. Они отвергли, казалось бы, заманчивые приглашения вернуться на родину, в Советскую Россию, и приступили в 1938 г. к разработке принципиально нового и в то время еще никому не ведомого летательного аппарата — вертолета. Великий конструктор в третий раз начинал свою творческую карьеру практически с нуля, на задворках объединенного завода «Воут-Сикорский». Впереди его ждала новая слава, возможно, превосходящая все ранее им достигнутое.

СНОВА ВЕРТОЛЕТЫ

Первый экспериментальный вертолет Сикорского поднялся в воздух под его управлением 14 сентября 1939 г.

Он имел одновинтовую схему с автоматом перекоса и хвостовым рулевым винтом. В настоящее время эта схема стала классической, по ней построено свыше 90% вертолетов всего мира, но тогда большинство авиаконструкторов считало ее бесперспективной.

После двух лет напряженных испытаний и доводки экспериментального аппарата, в 1942 г., был создан опытный двухместный вертолет S-47 (R-4), поступивший вскоре в серийное производство. Он был единственным вертолетом стран антигитлеровской коалиции, применявшимся на фронтах второй мировой войны. Акции Сикорского вновь пошли в гору. Правление «Юнайтед Эйркрафт» восстановило самостоятельность фирмы «Сикорский Эйркрафт», которая вскоре получила новую собст-



Первый «летающий кран» Сикорского. 1959 г.

венную производственную базу в Бриджпорте. Эта база оставалась основным центром фирмы Сикорского вплоть до 1955 г., когда в связи с большим ростом заказов был построен новый завод в Стратфорде, куда Сикорский и вернул свою резиденцию.

Со временем появились более совершенные легкие вертолеты Сикорского. Особенно большой успех выпал на долю послевоенного S-51. Он широко применялся во многих государствах как в боевых, так и гражданских целях, выдержал напряженную конкуренцию с летательными аппаратами других вертолетостроительных фирм. Особенно отличился этот вертолет в операциях по спасению человеческих жизней. Именно такое назначение Сикорский считал главным для вертолета. С приобретения лицензии на S-51 началось серийное вертолетостроение в Великобритании. Легкий S-52 стал первым в мире вертолетом, выполнившим фигуры высшего пилотажа.

Как и ранее в самолетостроении, наибольший успех ждал Сикорского на поприще создания тяжелых машин. Здесь ему не было равных. В противоположность бытовавшему в то время мнению он построил по классической одновинтовой схеме в 1949 г. трехспо-

ловинотонный, а в 1953 г. — четырнадцатитонный вертолеты, доказав возможность использования такой схемы для вертолетов любого весового класса. Гениально изменяя компоновку, Сикорский создавал на редкость удачные для своего времени транспортные вертолеты. С лицензии на S-55 началось серийное вертолетостроение Франции. Косвенным путем повлиял Сикорский и на становление вертолетостроения на своей родине. Успешное применение вертолета Сикорского в Корее, первый трансатлантический перелет заставили советских руководителей обратить внимание на винтокрылую технику.

Все попытки конкурентов создать что-либо близкое по характеристикам к S-56 не увенчались успехом. Он вообще не имел аналогов. Это был самый большой и грузоподъемный вертолет, оснащенный поршневыми двигателями. Установив мировые рекорды, он был признан не только самым грузоподъемным, но и самым скоростным. Впоследствии Сикорский построил экспериментальный бесфюзеляжный вертолет-кран, позволяющий увеличить вес перевозимого груза и упростить погрузочные работы.

Самый лучший вертолет, созданный Сикорским, поднялся в воздух в 1954 г. Это был S-58. Он строился рядом стран, и многие его экземпляры эксплуатируются до настоящего време-



Вертолет S-58, купленный для Н.С.Хрущева. 1961 г.

ни. По своим летно-техническим и экономическим характеристикам он превзошел все вертолеты своего времени. Он стал «лебединой песней» великого авиаконструктора. В 1958 г., когда серийное производство этого вертолета достигло своего пика — 400 машин в год, Сикорский вышел на пенсию, сохранив за собой должность советника фирмы.

НА НЕДОСЯГАЕМОЙ ВЫСОТЕ

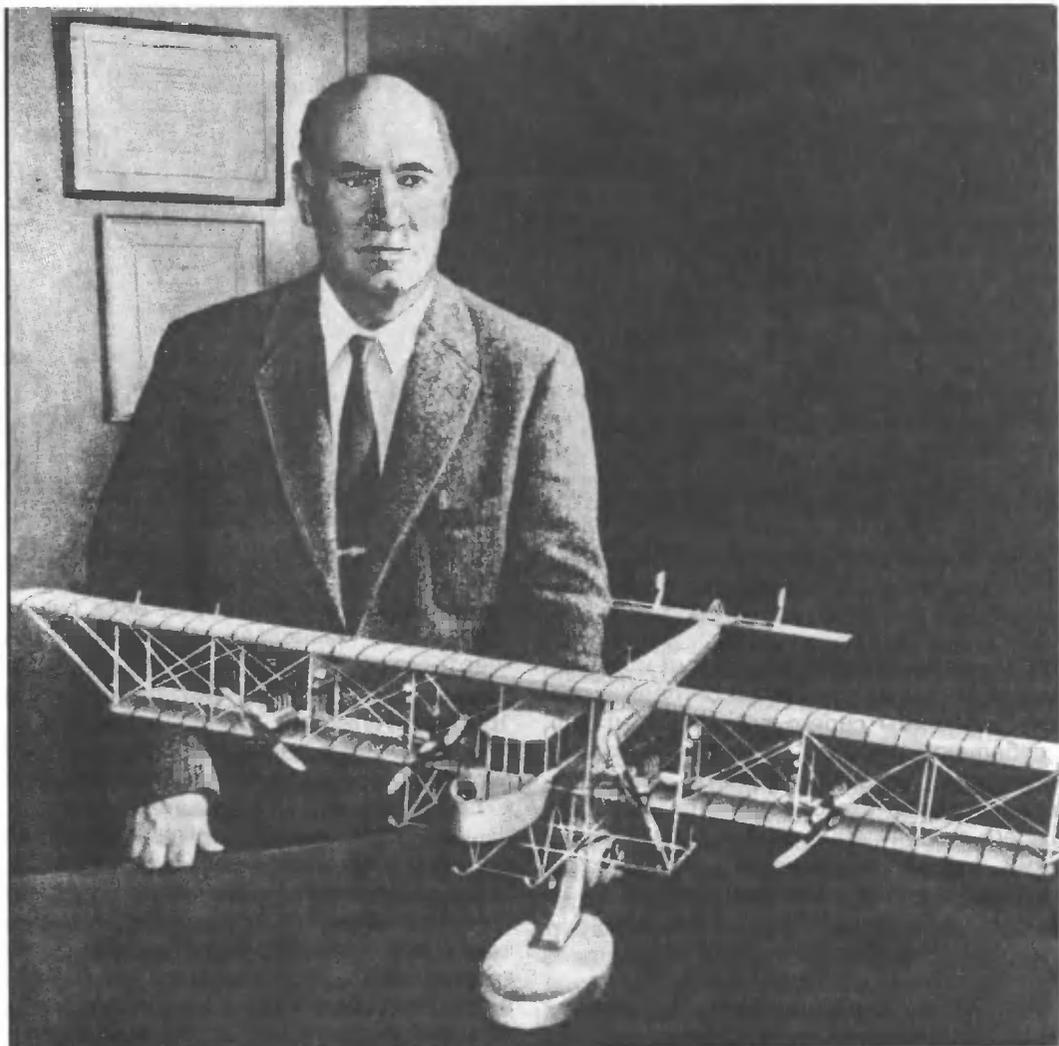
Он оставил пост руководителя, когда фирма была в цветущем состоянии. Ни одна из конкурирующих вертолетных фирм не могла сравниться с ней по технологическому и лабораторному оснащению, по числу сотрудников, объему и разнообразию продукции, количеству гарантированных заказов.

Мощный задел, оставленный Сикорским, и постоянные консультации с ним способствовали созданию в конце 50 — начале 60-х годов на фирме «Сикорский Эйркрафт Корпорейшн» успешных вертолетов нового, второго поколения, главной особенностью которых было применение газотурбинных двигателей вместо поршневых.

Основатель мирового вертолетостроения долго оставался на недося-

гаемой высоте. Под его руководством были созданы и доведены до серийного производства вертолеты всех существовавших классов. Его называли «вертолетчик № 1». В США им было создано 17 базовых типов самолетов и 18 — вертолетов.

Великий конструктор никогда не скрывал своего негативного отношения к событиям, происходившим на родине, но при этом всегда оставался патриотом России. «Нам нужно работать, а главное — учиться тому, что поможет нам восстановить Родину, когда она того от нас потребует», — говорил он, обращаясь к соотечественникам-эмигрантам. Он много сделал для пропаганды в Америке достижений русской культуры и науки, бесценно оставаясь членом правления Толстовского фонда, Общества русской культуры и т.п. Оказывал моральную и финансовую поддержку выходцам из России, различным общественным и политическим эмигрантским организациям. Выступал с лекциями и докладами, причем не обязательно на авиационные темы. Будучи глубоко религиозным человеком, Сикорский много способствовал развитию Русской Православной церкви в США, поддерживал ее не только материально. Он написал ряд книг и брошюр (в частности, «Невидимая встреча», «Эволюция души» и «В



Один из последних снимков: у модели «Русского витязя», подаренной сыном Сергеем.

поисках Высших Реальностей»), относимых специалистами к числу наиболее оригинальных произведений русской зарубежной богословской мысли.

За свою жизнь Сикорский получил свыше 80 различных почетных наград, призов и дипломов. Среди них российский орден Св.Владимира 4-й степени, о котором здесь уже упоминалось, а также медали Давида Гугенхейма, Джеймса Уатта, диплом Национальной галереи славы изобретателей.

В 1948 г. ему была вручена редкая награда — Мемориальный приз братьев Райт, а в 1967 г. он был награжден Почетной медалью Джона Фрица за научно-технические достижения в области фундаментальных и прикладных наук. В авиации, кроме него, ее был удостоен только Орвил Райт. Сикорский был почетным доктором многих университетов.

Скончался великий авиаконструктор 26 октября 1972 г.

Работа выполнена при поддержке РГНФ и РФФИ.

Эволюция человека и его социальной структуры

М. Л. Бутовская



Марина Львовна Бутовская, доктор исторических наук, профессор Института культурной антропологии Российского государственного гуманитарного университета, ведущий научный сотрудник Института этнологии и антропологии РАН. Область научных интересов — этология человека и приматов; особое место в исследованиях принадлежит изучению ранних этапов эволюции человека и общества. Монография (совместно с Л.А. Файнбергом) «У истоков человеческого общества» (М., 1993).

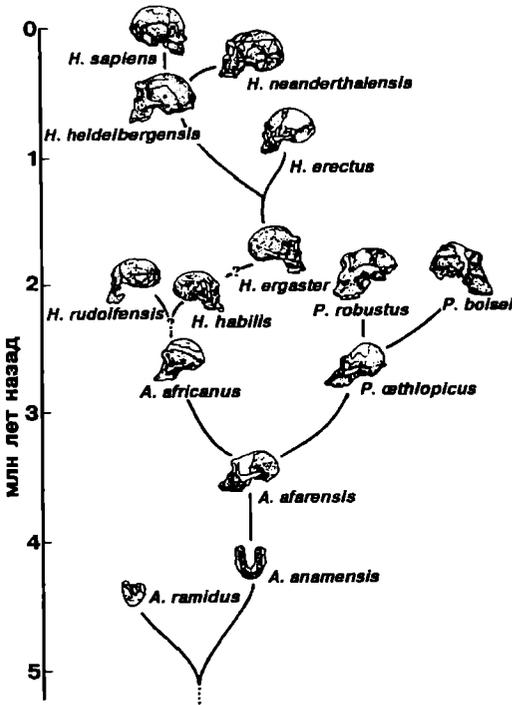
НЕМНОГИЕ научные проблемы дискутировались столь длительно и эмоционально, как проблема происхождения человека. Среди обсуждающих этот вопрос есть те, кто утверждает, что человек и его родословная не имеют ничего общего с прочими формами жизни на Земле, другие верят в акт божественного творения. Но с каждым годом антропология, и главным образом палеоантропология, предоставляет все больше научных доказательств последовательной, длящейся миллионы лет, эволюции человеческого рода¹. Вот уже более столетия исследователи заняты поисками «утраченного звена» — формы, непосредственно ответвившейся от общего с африканскими человекообразными обезьянами предка. Антропологи спорят о том, кто из этих обезьян — шимпанзе, бонобо (в отечественной литературе его называют карликовым шимпанзе) или гориллы — ближе к человеку, и о том, что послужило толчком к уникальным морфологическим и поведенческим преобразованиям: развитию двуногости, эволюции кисти, увеличению головного мозга, становлению орудийной деятельности, речи, сознания. Нет окончательной ясности и в понимании пути социальной эволюции человека.

НАШИ АФРИКАНСКИЕ ПРЕДКИ: КТО ОНИ?

Наука медленно, но последовательно заглядывает все дальше в глубь времен. Открытый в 1925 г.

© М.Л.Бутовская

¹ См. напр.: Зубов А.А. Естественная история древнего человечества // Природа. 1998. № 1. С.76—87.



Эволюционное древо семейства гоминид.
(I. Tattersall, 1996.)

Р.Дартом, крупнейшим антропологом из ЮАР, ребенок из Таунга — австралопитек африканский — был датирован 2.5 млн лет назад и вызвал настоящее потрясение. Мало того, находка была враждебно воспринята многими специалистами, так как в корне меняла представления и о географическом месте человеческой прародины (до начала нашего века большинство антропологов считали ею Юго-Восточную Азию), и о древности человека. Вместе с тем появление «бэби из Таунга» подтвердило гениальную догадку Ч.Дарвина об африканских корнях рода человеческого.

С конца 50-х годов родословная человека продолжает неумолимо удлиняться и ветвиться. Антропологи столкнулись с тем, что в Восточной и Южной Африке 2.6—1.2 млн лет назад одновременно существовали сразу несколько видов австралопитековых: гра-

цильные формы², такие как *Australopithecus africanus*, и массивные — *A. boisei*, *A. robustus*. Примерно этим же временем датируется и появление первых представителей рода *Homo*, т.е. *H. habilis* (2.6—1.6 млн лет назад) и *H. rudolfensis*³ (2.5—1.9 млн лет).

Обнаруженные в 1974 г. Д.Джохансоном останки более примитивного гоминида — австралопитека афарского (*A. afarensis*; то был скелет самки, с тех пор широко известный под именем Люси) — удревнили человеческую историю до 3 млн лет⁴. В дальнейшем было установлено, что существа этого вида обитали на территории нынешнего Хадара (Эфиопия) и значительно раньше: 4—3 млн лет назад.

К настоящему времени там же обнаружены останки около 250 индивидуумов. Правда, из них лишь несколько находок оказались полными до такой степени, что по ним удалось оценить пропорции тела этих существ и особенности строения черепа, а Джохансон установил к тому же факт двуногого передвижения. Кстати, находка, сделанная Джохансоном через восемь лет, в 1992 г., до настоящего времени остается самой полной для ранних австралопитековых. В 1993 г. Д.Джохансону и Б.Белу удалось восстановить череп самца по 200 фрагментам, в число которых входили затылочная кость, части неба (с несколькими зубами) и черепного свода, клык и значительная доля костей лицевого скелета.

Найденные в разных по древности геологических слоях останки австралопитековых из Хадара оказались чрезвычайно сходными морфологически. Таким образом, стало очевидным, что *A. afarensis* просуществовал почти в

² Грацильные формы отличаются от массивных только характеристиками черепа: менее мощными зубами, более слабо развитым челюстным аппаратом, отсутствием на голове сагиттального гребня. Масса тела и общие размеры у обеих форм сходны.

³ Этот вид ранних *Homo* выделен отечественным антропологом В.П.Алексеевым, им же предложено и видовое название — *H. rudolfensis*.

⁴ Джохансон Д., Иди М. Люси. Истоки рода человеческого. М., 1984.

неизменном виде в течение 900 тыс. лет (между 4 и 3 млн лет назад). Афарские австралопитеки, видимо, успешно конкурировали с другими видами приматов, а возможно, — и с хищными животными.

Что же известно сейчас об этих возможных предках человека — одних из самых древних? Не подлежит сомнению, что эти существа передвигались на двух ногах и могли проводить много времени на земле. Задние конечности ранних австралопитеков были несколько длиннее, чем у современных шимпанзе или бонобо, а передние — такие же, как у этих обезьян, таз — шире и короче.

Относительно передвижения афарских австралопитеков специалисты пока не пришли к общему мнению. Одни, в том числе американские антропологи О.Лавджой, Д.Джохансон и Б.Латимер, полагают, что Люси уже в совершенстве освоила двуногую локомоцию, а строение ее таза и бедренных мышц даже затрудняло передвижение по деревьям. Другие, не менее известные американские специалисты, например Р.Сасман и Дж.Стерн, доказывают, что Люси и ее родственники еще двигались на несколько согнутых в коленях ногах. Швейцарец П.Шмидт уверен, что афарские австралопитеки не могли бегать на большие расстояния, о чем свидетельствует форма грудной клетки Люси — длинная и цилиндрическая. По его мнению, при движении на двух ногах Люси сильно вращала телом, как это делают гориллы. Особенности же строения пальцев руки и большого пальца ноги, удлинённые пропорции рук говорят как будто о довольно долгом времяпрепровождении этими существами на деревьях, которые они, видимо, использовали как наиболее безопасное место для сна и отдыха.

Каковы бы ни были расхождения палеоантропологов во взглядах, все они едины в одном: ранние австралопитековые могли передвигаться на двух ногах и много времени находились на земле. Отпечатки следов как минимум двух особей *A. afarensis* почти 3,5-миллионнолетней давности, сохранившие-



Реконструкция выполнена по черепу автором статьи. Голова Люси.

ся на вулканическом пепле в Летоли (Танзания), отчетливо свидетельствуют, что основной упор стопы приходился на пяточную кость, как у человека.

Впрочем, двуногое хождение имеет, вероятно, куда более длинную историю. Кенийская исследовательница М.Лики сообщила недавно о находке в Канапои и Алия-Бей близ оз. Туркана (Кения) останков двуногого существа, жившего около 4,2—3,9 млн лет назад и названного ею *A. anamensis*⁵. Этот вид, считает американский антрополог Я.Татерсел, лишь незначительно отличается от *A. afarensis* и близкородствен ему⁶. Размеры эпифизов большой берцовой кости и угол ее сочленения с бедренной в коленном суставе указывают на то, что *A. anamensis* уже перемещался на двух ногах.

⁵ Leakey M. // Nature. 1995. V.376. № 6541. P.565—571.

⁶ Tattersall I. The Fossil Trail. N.Y., 1996.

В середине 90-х годов американский палеоантрополог Т. Уайт объявил, что нашел в Эфиопии (Арамис) то самое «недостающее звено», о котором вот уже более столетия грезят ученые. Новая форма, чей возраст оценивается в 4.4 млн лет, была выделена в новый род *Aridipithecus* и названа *A. ramidus* — наземная человекообразная обезьяна. По мнению Уайта, она претендует на звание прародителя австралопитековых⁷. У этой формы больше признаков, присущих шимпанзе, нежели у известных уже видов австралопитеков. В Арамисе обнаружены останки, принадлежащие приблизительно 50 особям и включающие фрагменты скелета, в том числе кости стопы, семь из восьми костей запястья и др. По строению зубной системы *A. ramidus* напоминает бонобо, который, как считает А. Зильман, сохранил максимальное число черт общего с гоминидами предка. Однако, в отличие от бонобо, *A. ramidus*, видимо, уже стал осваивать двуногое хождение.

Просматривается также и несомненное сходство между *A. anamensis* и *A. ramidus*. Антропологи, однако, до сих пор не решили, является ли последний сестринским таксоном по отношению к первому, или его следует считать исходной предковой формой.

В последние годы специалисты по молекулярной систематике пришли к чрезвычайно интересным выводам относительно времени отделения гоминидной линии от общего с африканскими человекообразными обезьянами предкового ствола⁸. Предполагается, что вначале ответвилась линия гориллы (между 10 и 7 млн лет назад) и только потом (также в миоцене, т.е. 7—6 млн лет назад) произошло разделение гоминоидной линии на гоминидную (австралопитеки, а затем род

Homo) и панидную (шимпанзе и бонобо) ветви. Если эти данные верны, то человек, шимпанзе и бонобо состоят друг с другом в более близком родстве, нежели каждый из них с гориллой.

В наши дни прочно утвердилось мнение, что классификация гоминид должна строиться не на основе морфологических признаков, а на степени генетического родства⁹. Данные молекулярной биологии привели к радикальному пересмотру систематики: роды горилла, шимпанзе и человек образуют близкородственную группу *Hominini* в пределах единого семейства гоминид. Туда же включают орангутанов и гиббонов — более дальних родственников человека¹⁰.

Не разрешен до настоящего времени спор о количестве видов австралопитековых, сосуществовавших в Афаре. Одни исследователи, основываясь на размерах тела, настаивают на высоком уровне полового диморфизма афарских гоминид. По подсчетам Джохансона, масса самца австралопитека афарского составляла примерно 45 кг при росте 152.5 см, самка же была существенно меньше: высотой приблизительно 120 см и массой около 27 кг. Поражает, однако, что при сильно выраженном половом диморфизме по размерам тела величина клыков самцов и самок мало различалась.

Социозкологические исследования приматов выявляют исключительно сложную связь между степенью выраженности полового диморфизма, конкуренцией между самцами, характером отношений между особями разного пола, соотношением самцов и самок в группе, отбором самцов-защитников, которые снижают риск убийства детенышей самцами-чужаками, и особенностями экологии, например типом питания и наличием хищников¹¹.

Впрочем, половой диморфизм еще

⁷ White T., Suwa G., Asfaw B. // Nature. 1994. V.371. № 6495. P.306—312.

⁸ Seabley C.G., Comstock J.A., Ahlquist J.E. // J. Mol. Evol. 1990. V.30. P.202—236; Goodman M., Bailey W.J., Hayasaka K. et al. // Amer. J. Phys. Anthropol. 1994. V.94. P.3—24; Ruvolo M. // Ibidem. 1995. V.98. P.218—232.

⁹ Козинцев А.Г. Этнолог. обозрение. 1997. Вып.4. С.96—116.

¹⁰ Фоули Р. Еще один неповторимый вид. М., 1990.

¹¹ Plavcan J., Schaik C. van // Amer. J. Phys. Anthropol. 1992. V.87. P.461—477.

не может служить однозначным указанием на более жесткие иерархические отношения в группах или ориентацию на гаремные формы социальной организации. Причина диморфизма может скрываться в различной пищевой специализации полов или быть связана с потребностью в защите от врагов.

Лавджой связывает половое различие в размерах тела с переходом австралопитековых к моногамии и строит на этом основании свою модель социальной организации ранних гоминид. По мнению Лавджоя, их сообщество состояло из нескольких парных семей с потомством. Вполне допустимо, что эти существа жили сплоченными группами по 25—30 особей, благодаря чему обеспечивалась коллективная защита от хищников. Мощные, крупные самцы несомненно были уже способны применять (как современные шимпанзе) с этой целью камни или палки, а выпрямленное положение тела и изменение техники метания предмета делали защиту более эффективной.

Правда, некоторые специалисты полагают, что в Афарэ существовали два вида австралопитеков — крупный и мелкий, а в пределах каждого из них половой диморфизм мог быть незначительным¹². При таком взгляде аргументы в пользу того, что Люси была особью женского пола, а существо, чьи останки найдены в 1992 г., — мужского, мало доказательны, так как главный довод Джохансона — именно разные размеры тела. Заметим, пол шимпанзе и бонобо нельзя определить по размерам тела и форме таза. Следовательно, этот показатель вряд ли пригоден и для диагностики пола у ранних гоминид.

ПРЯМОХОЖДЕНИЕ, РАЗВИТИЕ РУКИ И РЕЧИ

До начала 90-х годов ни один серьезный специалист не сомневался,

что непосредственная прародина человека — Восточная Африка. Большинство находок австралопитеков и ранних представителей рода *Ното* действительно были сделаны на ее широких пространствах (от Эфиопии до Танзании), а также в южной части континента. Это и дало основание предпологать некоторую приуроченность ранних стадий эволюции человека к зоне Великого Африканского рифта (Восточно-Африканской зоне разломов). Но вот в 1993 г. в Чаде (провинция Бахр-эль-Газаль), т. е. в 2500 км западнее этой зоны, почти в центре континента, найдены останки некоего существа, названного чадантропом, которое по морфологическим характеристикам напоминает австралопитека афарского. Это наводит на мысль о более широком распространении австралопитековых в Африке по крайней мере в период 3.5—3 млн лет назад. Следовательно, гипотеза о том, что австралопитековые вытеснили менее приспособленных шимпанзе из открытой местности в зону тропических лесов западнее Африканского рифта не подтверждается. Местность Бахр-эль-Газаль, по данным палеоэкологов, напоминала Хадар той же эпохи: изобиловала озерами и небольшими ручьями, влажные тропические леса перемежались лесосаваннами с открытыми участками, поросшими густой травой.

Со школьных лет мы привыкли слышать, что двуногая локомоция возникла у наших предков при переходе к жизни в саванне. Однако палеоэкологические данные ставят под сомнение этот факт. Климат в Восточной Африке 6—4.3 млн лет назад был умеренно влажным, а в период с 4.4 до 2.8 млн лет влажность даже несколько повысилась. Палеоэкологические материалы из Арамиса свидетельствуют, что *A.ramidus* обитал в тропическом лесу. Принимая во внимание и другие сведения, следует, видимо, признать, что двуногое хождение возникло вне связи с глобальными изменениями климата и аридизацией среды обитания предков человека, а значит, не

¹² Zihlman A. Reconstructions recocidered: chimpanzee models and human evolution // Great Ape Societies / W.McGrew, L.Marchant, T.Nishida eds. Cambridge, 1997. P.293—304.

было адаптацией к жизни в открытых пространствах. Аридизация Восточной Африки началась значительно позднее — около 2.5 млн лет назад, т.е. более чем через 2 млн лет после перехода гоминид к прямохождению.

Ранние австралопитековые, видимо, были тесно связаны с лесными экосистемами, а более поздние представители этого рода обитали, вероятно, в мозаичных ландшафтах. Двухногая локомоция несомненно сыграла большую роль в освоении гоминидами открытых мест, так как благодаря ей уменьшилась площадь инсоляции тела, увеличился обзор территории, появилась возможность применять предметы для защиты от хищников и т.д. Тем не менее прямохождение обусловлено скорее всего не переходом к жизни в саванне.

Что же в таком случае послужило толчком к изменению способа передвижения у предков человека? К сожалению, однозначного ответа на этот вопрос пока нет. Как предполагает Уайт, в выпрямленном положении *A.ramidus* мог начать перемещаться по толстым ветвям, чтобы собирать фрукты с невысоких деревьев, а впоследствии перешел к двухногому хождению от дерева к дереву. Такой способ был энергетически выгоднее, нежели каждый раз опускаться на четвереньки и вновь подниматься на две ноги. С точки зрения А.Кортланда переход к прямохождению и удлинение задних конечностей могли, наконец, быть адаптацией к жизни в заболоченном тропическом лесу.

В антропологической литературе не раз упоминалась неэкономичность двухногой локомоции, но тогда она вообще переходила в разряд совершенно неадаптивных поведенческих качеств. От этой идеи, однако, пришлось отказаться, как только специалисты сравнили типы передвижения. Известно, что их три: с опорой на четыре конечности (на ладони и стопы, пяточная кость при этом не касается земли); на стопы и тыльные стороны кистей (косточки пальцев); на полную ступню в выпрямленном положении. Оказалось, что наименее вы-

годный способ — второй, типичный для человекообразных обезьян, а вовсе не третий, гоминидный. Иными словами, способ передвижения по земле шимпанзе или горилл куда менее адаптивен, чем прямохождение. С энергетической точки зрения переход от обезьяньего хождения с опорой на косточки пальцев к двухногости нужно рассматривать как адаптивный.

Со студенческой скамьи мы прочно усвоили энгельсовскую триаду, якобы обеспечившую становление человека: тесно связанные друг с другом прямохождение, развитие руки и речи. Прогрессивное увеличение размеров мозга — универсальное направление эволюции всех гоминидных линий в плейстоцене и плиоцено. Однако тенденции в развитии размеров тела и пропорций конечностей у австралопитековых и представителей рода *Homo* различны.

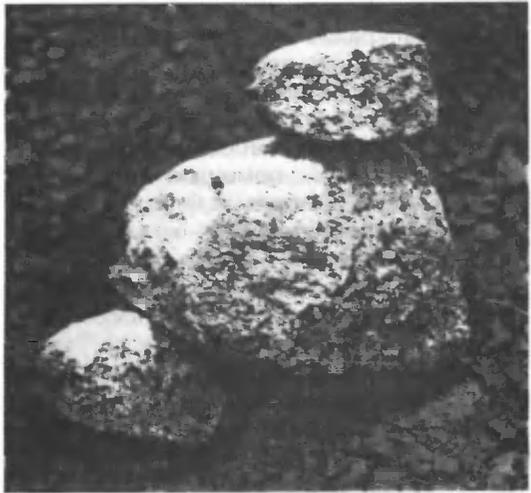
Двухногая локомоция возникала неоднократно в разных линиях гоминид, причем много раньше — за несколько миллионов лет до формирования человеческой кисти. До настоящего времени не обнаружено никаких подтверждений тому, что ранние австралопитековые, как и более поздние их формы (грацильные или массивные), изготавливали и регулярно использовали каменные орудия. Ведь самые древние из них, найденные в Олдовае (Танзания), датируются 2.5 млн лет и ассоциируются лишь с появлением *H.habilis*. Правда, орудийная культура уходит корнями в самые глубины гоминидной эволюции, и вполне допустимо, что австралопитеки (особенно поздние) могли делать орудия из менее твердых природных материалов — дерева, кости. Допущение это не покажется столь уж фантастическим, если вспомнить, что современные шимпанзе в природе активно и постоянно применяют разнообразные приспособления. Для выуживания термитов и муравьев они зубами заостряют палку или соломинку; чтобы собрать воду, делают губку из разжеванных листьев, а камнями раскалывают орехи.

Примечательно, что каждый шимпанзе в национальных парках Таи (Кот-д'Ивуар) и Боссоу (Гвинея) имеет свои излюбленные каменные орудия — «молоток и наковальню», носит их за собой или прячет в определенных местах, которые четко запоминает¹³. Более того, некоторые особи используют также третий камень в качестве клина, чтобы поддерживать поверхность «наковальни» в горизонтальном положении и придавать ей устойчивость. Камень, служащий клином, — это в сущности метаорудие, ибо применяется для усовершенствования орудия первичного.

Использование конкретных материалов в качестве орудий передается в популяциях этого вида как традиция. Самки шимпанзе из Таи, например, не только раскалывают орехи в присутствии своих детенышей, но и явно стимулируют их (наказанием или поощрением) к освоению оптимальных навыков колки.

Причины появления двуногой локомоции в одной или нескольких популяциях гоминин по-прежнему остаются загадкой. Вполне возможно, что подобная перестройка стала нейтральным следствием какой-то комплексной мутации, преадаптации. Важно одно: преобразования произошли не потому, что руки этих существ были чем-то постоянно заняты. А вот переход к передвижению на двух ногах уж точно привел к высвобождению рук, что и создало благоприятные возможности для последующего развития манипуляторных способностей.

Человеческая речь, напротив, стала развиваться раньше, чем предполагали антропологи. Можно считать установленным наличие оформленных мозговых центров Брока и Вернике уже у *H. habilis*¹⁴. По мнению крупнейшего специалиста по ранним гоминидам Ф.Табайаса, зачатки центра речи прослеживаются у поздних австралопитеко-



«Молоток, наковальня» и клин, используемые шимпанзе в национальном парке Боссоу (Т. Matsuzawa, 1997.)

вых — грацильных и массивных, т.е. *A. africanus* и *A. robustus*¹⁵. Представляется очевидным, что у существ, перешедших к прямохождению, головной мозг еще не достиг необходимых размеров, чтобы они могли изъясняться членораздельно. Объем мозга у австралопитека афарского (находка 1992 г.) лишь немного превышал 500 см³, а у *H. habilis* — одного из первых в роде *Homo* — в среднем был равен уже 630 см³, у современного же человека он составляет около 1300 см³.

Между тем, у наших далеких предков несомненно уже имелась основа для формирования человеческого языка — зачаточные способности оперировать символами. Судя по современным данным, ближайшие родственники человека — шимпанзе, бонобо и горилла — понимают символы, оперируют ими, комбинируют знаки, создавая новые значения¹⁶. Особенно в этом преуспели карликовые шимпанзе. Например, бонобо по имени Кензи научился общаться с помощью символов, воспринимает слова со слуха без

¹³ Matsuzawa T. Chimpanzee intelligence in nature and in captivity: isomorphism of symbol use and tool use// Great Ape Societies. 1997. P.196—209.

¹⁴ Козинцев А.Г. // Цит. соч.

¹⁵ Tobias P.J. // Human Evol. 1987. V.16. P.741—761.

¹⁶ Gibson K.R., Ingold T. Tools, language and cognition in human evolution. Cambridge, 1993.

специальной тренировки, быстро устанавливает связь между нарисованным символом и его словесным выражением, понимает смысл простых предложений. Возможно, в природных условиях бонобо способны передавать информацию с помощью символов. Группа американских и японских приматологов, работающая в национальном парке Ломако, недавно обнаружила, что члены одного сообщества, разбиваясь на группы, оставляют друг другу настоящие послания в виде символов: воткнутых в землю палок, положенных на тропу веток, ориентированных в нужном направлении листьев растений. Благодаря таким меткам сородичи могут определять направление движения впереди идущей группы¹⁷. Эти метки чаще встречаются на развилках или в местах, где невозможно оставить следы на земле — при переходе через ручей, в заболоченном месте и т.д. Так поступили бы и люди в подобных ситуациях.

Человекообразные обезьяны обладают также и зачатками абстрактного мышления — могут воспроизводить образ предмета. Примечательно, что рисуют они в соответствии с рядом правил, характерных для творческой активности 1.5—4-летних, а иногда и более старших детей. Горилла Коко, способная изъясняться на языке глухонемых, без сомнения, вкладывает в свои рисунки определенный смысл. Так, одному из них, выполненному в красно-желто-голубой гамме, она дала название «Птица», объяснив экспериментаторам, что изобразила свою любимицу — голубую сойку — сходной расцветки. Партнер Коко, самец Михаэл, нарисовав динозавра, игрушку коричневого цвета с зелеными шипами, в точности воспроизвел расцветку и даже изобразил зубцы.

Данные из области приматологии, накопленные к настоящему времени, существенно подрывают традиционные



Горилла Коко акварелью рисует птицу (взято из Internet).

представления о качественной уникальности человека и делают поиски пресловутой грани между ним и человекообразными обезьянами мало перспективными. Конечно, различия существуют, но они по большей части количественного порядка.

ПОВЕДЕНИЕ РАННИХ ГОМИНИД

Узнаем ли мы когда-нибудь истину об этом — ведь социальное поведение не может быть документировано по ископаемым остаткам. Тем

¹⁷ Savage-Rumbaugh S., Williams S., Furuichi T., Kano T. Language perceived: Paniscus branches out // Great Ape Societies. 1997. P.173—184.

не менее все большее число исследователей пытается реконструировать его с помощью данных из области социозологии приматов, этологии человека, социальной антропологии и палеоэкологии¹⁸. Сейчас можно говорить лишь о самой общей модели социальных отношений в группах гоминид, точнее, о принципах, ибо даже в пределах одного вида животных социальные структура и отношения могут сильно различаться. У гаремного вида — гориллы — во многих группах имеется более одного самца, участвующего в репродукции. Социальная структура шимпанзе зависит от места обитания: популяции, населяющие границу саванны, в отличие от лесных сородичей, образуют сплоченные и многочисленные сообщества, реже разбиваются на мелкие группки в поисках добычи.

Вариабельность социальных структур обусловлена многим: экологическими условиями, временем года и реальными погодными условиями (например, небывалой засухой или обилием дождей), наличием соседних сообществ (т.е. плотностью популяции) или второй близкородственной группы, претендующей на сходные ресурсы питания. Так, в периоды сильной засухи стада павианов анубисов формируют необычные для себя группировки, которые напоминают гаремы павианов гамадрилов.

Немалую роль в социальной эволюции могут играть история конкретной группы и внутригрупповые традиции. Известно, что шимпанзе в природе сильно отличаются характером использования орудий, техникой добычи пищи, индивидуальными привязанностями взрослых особей. Чрезвычайно велика роль «личности» отдельных членов группы, в первую очередь — лидера.

Как видим, социальные структуры и отношения в сообществах обезьян действительно разнообразны. Поэтому

вряд ли уместно строить однолинейные, жесткие модели социальной эволюции человека или основывать их на анализе поведения какого-либо одного вида приматов или только сообществ современных охотников-собираателей.

Различия в социальном поведении между видами (или популяциями) специалисты в области социозологии склонны объяснять, исходя из характера распределения пищевых ресурсов и репродуктивных партнеров в пространстве¹⁹. Известно, например, что наземные всеядные (неспециализированные или преимущественно фруктоядные) виды приматов могут формировать большие группы, в которых существуют конкурентные отношения между самками за пищу и между самцами за доступ к самке.

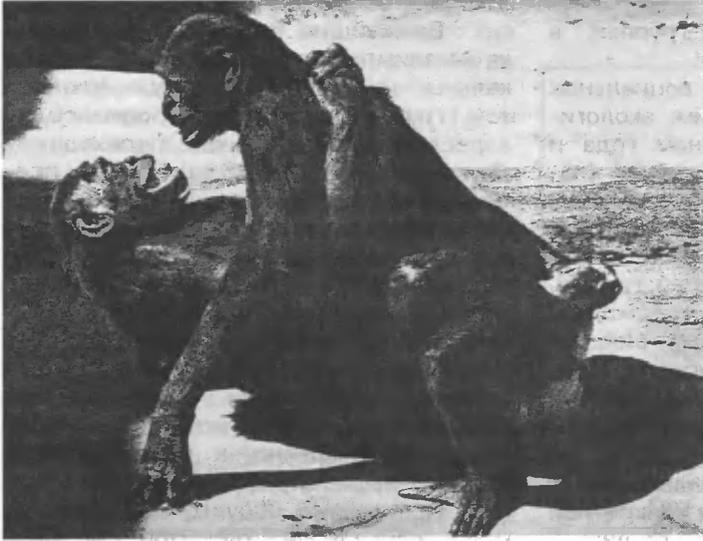
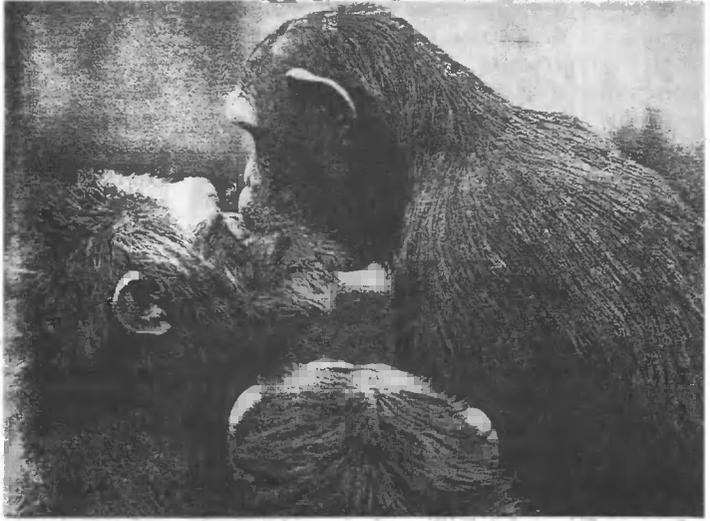
Ближайшие родственники человека — шимпанзе и бонобо — патрилокальны: самцы проводят всю жизнь в той группе, в которой родились, а взрослые самки обычно переходят в другие группы. Однако при общем преобладании такой системы обмена особями некоторые самки обезьян проводят всю жизнь в родной группе. Если обратиться к этнографии, то выясняется, что некоторые традиционные человеческие культуры не патрилокальны, а матрилокальны, причем корни этой социальной организации весьма древние. Означает ли это, что матрилокальность появилась вторично, а все популяции гоминид были патрилокальны?

По мнению Фоули, патрилокальность обусловлена развитой системой кооперации между самцами и ее низким уровнем между самками. Значит, в жизни сообществ ранних гоминид социальные связи самок существенной роли не играли, зато тенденции к объединению самцов со временем усиливались, ибо это способствовало успеху в охоте и защите от хищников (а возможно, и от соседних сообществ).

¹⁸ Butovskaya M.L. Some aspects of hominid socioecology according to primatologic data // *Man and Environment in Paleolithic* / H.Ullrich ed. Liege, 1995. P.309—316.

¹⁹ Бутовская М.Л., Файнберг Л.А. У истоков человеческого общества. М., 1993; Wrangham R.W., Gittleman J.L., Chapman C.A. // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 1993. V.32. P.199—209.

«Средства» примирения у шимпанзе после конфликта: поцелуи и элементы сексуального поведения. (Wall F. de. Good Natured. Cambridge, 1996.)



С нашей же точки зрения, стабильность социальных групп ранних гоминид в значительной мере зависела от самок²⁰. Судя по результатам многолетних наблюдений Ф.де Ваала за колонией обыкновенных шимпанзе в Арнеме (Голландия) и Ч.Беша — в национальном парке Таи, самки способны формировать стабильные группы на основе родства и дружеских

привязанностей. Такая форма социального поведения присуща и карликовому шимпанзе. Бонобо отличаются от обыкновенного шимпанзе более высоким уровнем социальности как в отношениях между самками, так и между самками и самцами²¹. Группы у бонобо в среднем больше, состав групп — постояннее, а вероятность внутригрупповой агрессии — меньше. Бонобо примечательны и высочайшим уровнем развития механизмов, которы-

²⁰ Бутовская М.Л. Социальная структура ранних гоминид и проблема адаптации к различным климатическим условиям в палеолите // Человек заселяет планету Земля / Под ред. А.А.Величко, О.Соффера. М., 1997. С.21—28.

²¹ White F.J. Comparative socioecology of Pan paniscus // Great Ape Societies. 1997. P.29—41.



ми контролируется социальная напряженность. Последнее немаловажно для моделирования социальных отношений гоминид, ибо с развитием орудийной культуры конфликты внутри группы становились опаснее. Для их урегулирования бонобо используют не только элементы дружелюбного поведения — поцелуи, объятия и касания, присущие также и обыкновенному шимпанзе, но и сексуальные элементы, причем как во взаимоотношениях между особями противоположного пола, так и своего.

При патрилокальности у бонобо отмечены интенсивные, тесные и устойчивые связи между неродственными самками, возникающие благодаря многолетней личной привязанности. Этому могли способствовать или риск детоубийства (инфантицида) самцами, или необходимость объединения для поиска и добычи пищи²². Когда ранние

гоминиды встали на ноги и утратили клыки, то при наличии по соседству хищников тенденции к кооперации самок могли усилиться. Развитие дружественных связей между ними могло быть обусловлено также совместным выращиванием потомства.

Современные женщины, видимо, следуют в своих отношениях той же модели поведения. Во многих традиционных патрилокальных обществах жена, перейдя в дом мужа, устанавливает тесные связи с его родственницами, вместе с ними ведет хозяйство и воспитывает детей. Да и вообще девочки с раннего возраста склонны к дружественным отношениям, тогда как мальчики чаще образуют группы для повышения собственного статуса²³.

Из сказанного следует, что большая роль самок в социальных отношениях вполне совместима с патрилокальностью и подтверждается как приматологическими, так и этнографическими данными.

Средние размеры сообщества шимпанзе, бонобо и современных охотников-собирателей сходны (25—35 особей вместе с детьми), и нет никаких причин полагать, что размеры групп наших предков были иными. Не исключено также, что сообщества то распдались на небольшие группки, отправляясь на поиски пищи, то объединялись на ночевку или для сбора обильного урожая фруктов или орехов (позднее источником пищи могли быть туши убитых или отбитых у хищников животных).

Замечено, что наибольшей бывает сплоченность групп у тех представителей одного и того же вида (шимпанзе, павианы анубисы, макаки резусы и лапундеры), которые обитают в открытой местности с сухим климатом. В таких условиях, в отличие от лесных экосистем, шимпанзе, например, чаще всего образуют группы, в составе которых есть взрослые самцы, тогда как отдельные особи или группы без самцов исключительно редки.

²² Butovskaya M.L. Coping with social tension in primate societies: Strategic modelling of early hominid evolution // Hominid Evolution — Lifestyles and Survival strategies / H.Ullrich ed. Schewellum, 1998.

²³ Бутовская М.Л. // Этнолог. обозрение. 1997. № 4. С.104—122.

Причина такой трансформации — присутствие хищников: чем выше опасность их нападения, тем больше самцов в каждой группе.

Не подлежит сомнению, что плейстоценовая фауна Восточной Африки изобиловала хищниками. Ранние гоминиды жили в непосредственном соседстве с саблезубыми тиграми, гиенами, гепардами и леопардами и не могли сравниться с ними ни в силе, ни в скорости. Именно сплоченность и большие размеры групп в первую очередь помогли адаптироваться австралопитековым к этим условиям.

Исключительно острые дебаты среди отечественных специалистов по истории первобытного общества идут относительно репродуктивных (брачных) отношений у наших предков. Вряд ли и в этом следует придерживаться какой-то одной модели, эволюция могла быть многовариантной. Современные данные, как нам представляется, подтверждают идею о существовании сериальной моногамии (последовательных парных браков) на ранних этапах гоминизации²⁴. Но нельзя исключить и других видов брачных отношений. Вероятность гаремных структур невелика, но допустима в небольшом количестве популяций: когда гоминиды начали потреблять мясную пищу, более талантливый охотник мог обеспечить пропитанием нескольких партнерш. (Заметим, среди современных охотников-собирателей гаремные отношения не возбраняются, но все же это редкость, да и число жен в гареме невелико: две-три, редко четыре.) Возможен также и промискуитет — довольно свободные половые отношения.

По данным социобиологии, репродуктивные стратегии самцов и самок у приматов различны (у человека тоже). В среднем самцы более промискуитетны и ориентированы на сексуальные контакты со многими партнершами. Стратегия самок двояка: они либо выбирают самца-помощника (т.е.

хорошего отца), либо «носителя хороших генов» — физически здорового, сильного, привлекательного, занимающего высокое место в иерархии. В последнем случае потомство имеет шанс унаследовать от отца очевидные преимущества, но мать лишается помощника. Какая стратегия — самцов ли, самок — преобладает, зависит от ее адаптивности в данных условиях. Для самок ранних гоминид парные связи с конкретным самцом оказались жизненно важны и адаптивны, так как репродуктивная способность самок была низкой, а дети долго нуждались в родительской опеке. Альтернативой парной семье могли быть лишь упор на родственные связи и помощь со стороны самок друзей и родственниц.

Этологический анализ дает представление о предпочтительности сексуального выбора у приматов и человека. Оказывается, максимально привлекательны партнеры, обладающие чертами сходства с теми, в чьем окружении они находились в раннем детстве (т.е. с родственниками первого порядка). Следом за ними стоят по привлекательности дальние родственники — троюродные братья и сестры, дядья и племянники. Так что родственные браки имеют весьма древние корни.

ОХОТНИКИ ИЛИ СОБИРАТЕЛИ ПАДАЛИ?

Важнейшим событием в эволюции гоминид считается переход к потреблению мясной пищи. Как же они ее добывали? Археологические данные плиоплейстоценового времени как будто подтверждают, что на ранних стадиях наши предки были собирателями падали. Однако нельзя исключить, что они также и охотились. По мнению Г. Айзека, ранние гоминиды сочетали охоту со сбором падали, причем в разные сезоны преобладал то один из этих способов добычи мясной пищи, то другой. Археологи не нашли костей, которые могли бы свидетельствовать об охоте гоминид на животных. Но наблюдения за шимпанзе и этнографические материа-

²⁴ Fisher H.E. // Amer. J. Phys. Anthropol. 1989. V.78. P.331—354.

лы народа хадза (группы охотников-собирателей из Танзании) подтверждают это. Обыкновенные шимпанзе, например, охотятся регулярно, а в национальных парках Таи, Махале, Гомбе так просто хищничают среди других обезьян — красных гворец²⁵.

По подсчетам Р.Ренхема и Э.Бергмана-Рисса, группа шимпанзе из 45 особей может потреблять до 600 кг мяса в год. В пищу идет все, включая кости. Если ранние гоминиды добывали дичь малых и средних размеров и потребляли ее тоже без остатка, то никакие кости и не могли сохраниться. Правда, современные хадза порой оставляют остатки охотничьих трофеев на месте добычи, но их быстро потребляют пернатые и наземные падальщики. И у шимпанзе, и у хадза пик охоты и сбора падали приходится на сухой сезон, когда растительной пищи явно не достает.

По мнению К.Стенфорда, охоту в сообществах шимпанзе стимулируют рецептивные самки. Существует, видимо эволюционная связь между доступом самца к репродуктивной самке и его заботой об обеспечении ее пищей. С исчезновением внешних признаков рецептивности (набухания половой кожи) сексуальные отношения перестали быть приуроченными к периоду вероятного зачатия, половые связи между конкретным самцом и самкой стали постоянными, а не ограничивались несколькими часами или днями, как у шимпанзе.

Развитие охоты стимулировало кооперацию между самцами, поскольку

уже у шимпанзе наблюдается положительная связь между числом охотников и успехом в добыче дичи. Такая кооперация помогала самцам контролировать и власть в группе, что в свою очередь повышало их репродуктивные шансы. Максимальный индивидуальный успех зависел как от социального интеллекта самца (умения манипулировать другими членами группы), так и «инструментального» — успешного планирования охоты и знания особенностей поведения жертвы.

* * *

Итак, человеческая родословная удревнилась до 4.4 млн лет, но кандидат на ее основателя окончательно не определен. Как и современные приматы, наши далекие предки жили сообществами, социальные отношения в которых могли быть весьма разнообразными.

Приматологические исследования последних лет показывают, что социальная организация и социальные отношения даже у видов одного рода могут сильно различаться. А потому модель, которая базируется на данных о конкретном виде современных приматов, будь то шимпанзе, бонобо или павианы, нельзя признать оправданной. Напротив, анализ общего характера поведения в филогенетическом ряду приматов, выявление универсальных закономерностей и стратегий во внутrigрупповых отношениях может приблизить нас к пониманию событий на заре человеческой истории.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 96-06-80405.

²⁵ Wrangham R., Petron D. *Demonic Males*. Boston, 1996.

Nota bene

Гидрология. Экономика

Водный кризис в Китае

Китай, наибольшая по численности населения страна, вызывает пристальное внимание Института наблюдения за миром (WWI). Директор этого института Л.Браун и его коллега Б.Холуэлл вскрывают причины водного кризиса в Китае и предсказывают его последствия¹.

С весны 1994 г. в Китае официально признается все нарастающий дефицит воды. Именно тогда впервые крестьянам в окрестностях Пекина было запрещено пользоваться водохранилищами — традиционными источниками для полива: эти запасы стали направляться только на нужды промышленности и населения столицы. К середине 1998 г. из 617 городов КНР в той или иной мере испытывали недостаток воды около 300, причем процесс шел по нарастающей.

Сельское хозяйство не в состоянии конкурировать с городами в борьбе за воду — и не только в Китае. Цена пшеницы на мировом рынке сейчас около 200 долл. США за 1 т, а потребность в воде для выращивания этого количества зерна достигает 1 тыс. т. В промышленности же 1 тыс. т. воды приносит доход в 14 тыс. долл. Такое семидесятикратное преимущество в эффективности индустрии над сельским хо-



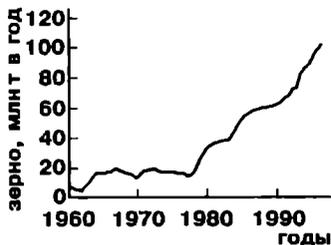
Проект переброски рек в Китае. Он может лишь частично решить проблему, которая состоит в том, что две трети сельского хозяйства страны расположены на севере, а четыре пятых ее водных ресурсов — на юге.

зяйством крестьянство преодолеть в принципе не может. Конкуренция между ними усиливается. В 1995 г. города КНР истратили в промышленных и бытовых целях 31 млрд т воды, к 2030 г., по оценкам специалистов, им потребуется не менее 134 млрд т в год. Еще круче возрастут потребности всех промышленных предприятий КНР: с 52 до 269 млрд т в год.

По наблюдениям гидрологов КНР, уровень грунтовых вод во многих местностях неуклонно снижается. Так, в пределах Северо-Китайской равнины, производящей почти 40% зерновых страны, он опускается за последние пять лет в среднем на 1.5 м/год. Колодцы очень часто пересыхают полностью. Самый наглядный

пример процесса обезвоживания — состояние р.Хуанхэ (Желтой). В 1972 г., впервые в истории, ее воды на протяжении двух недель не достигали устья. В следующем десятилетии река в нижнем течении пересыхала периодически, а с 1982 г. — ежегодно, причем безводный период с каждым разом все увеличивался, а в ознаменованном жесточайшей засухой 1997 г. воды в низовьях Хуанхэ не было подряд 226 сут. Несколько месяцев 1997 г. полив полей был невозможен во всей провинции Шаньдун, по которой проходит русло Хуанхэ перед впадением в залив Бохайвань Желтого моря. А ведь на этой территории производится до 1/5 пшеницы и 1/7 кукурузы КНР. Система ирригации в провинции Шаньдун наполовину зависит от этой реки — ее пересыхание в 1996 г. сократило урожай зерновых на 2.7 млн т, которых хватило бы прокормить 9 млн китайцев. Ведущее строительство сотен новых водохранилищ в среднем течении Хуанхэ неизбежно приведет к дальней-

¹ Brown L.R., Halwell B. // World Watch. July/August 1998. P.10—18.



Рост потребления кормового зерна в животноводстве Китая.

шуму ее пересыханию в низовьях.

Для китайского народа осознание того, что «исчезла» великая Хуанхэ, было бы равносильно ощущению россыя, узнавших, что Волга более не впадает в Каспийское море и ее дно от Волгограда, или даже от Саратова, до Астрахани обнажилось!

Экономические последствия обезвоживания трудно переоценить. Падение эффективности земледелия и скотоводства означает новую волну нищенствующих переселенцев из деревень в города. Обеспечение их работой потребует усиленной индустриализации, а промышленность — все новых запасов воды. Такой порочный круг угрожает властям КНР.

Надвигающийся в Китае водный кризис может иметь и международные последствия, особенно при учете размеров страны и численности населения, составляющего примерно 1/5 всего человечества. КНР — крупнейший импортер зерна. Если его закупки за рубежом возрастут, поднимутся цены на мировом рынке. Это может поставить на грань голода около 1.3 млрд людей в развивающихся странах, тоже закупающих продукты питания: позволить себе импортировать большое коли-

чество зерна по новым ценам они не смогут.

Есть на Земле и другие страны, уже испытывающие, по данным Международной ассоциации гидрологических наук, серьезный недостаток воды, в том числе Саудовская Аравия, Израиль, Иордания. Там, перебрасывая влагу в города, обычно отдают приоритет промышленности, в большой мере работающей на экспорт, а на вырученные деньги приобретают продукты питания (импортного зерна здесь от 70 до 90%). Но все это небольшие государства, и закупки ими продовольствия серьезного влияния на мировые цены не оказывают. Китай же — первая великая страна, претерпевающая водный дефицит уже сегодня и стоящая на пороге его ужесточения.

Все это вызывает серьезную озабоченность в ведущих промышленных государствах, опасющихся за степень политической стабильности в КНР, где голодные крестьянские бунты в истории случались нередко. Авторитетные специалисты как в Китае, так и за рубежом надеются все же, что преодолеть кризис еще возможно. Предлагаемые меры — использование в сельском хозяйстве культур с меньшим потреблением воды, освоение водосберегающих методов полива, в частности капельной ирригации². В энергетике необходим сдвиг в пользу источников, также требующих меньших расходов воды: вместо строительства новых ГЭС, водохранилища которых испаряют огромные массы влаги, следует приступить к созданию сети ветровых электростанций.

² См., напр.: Алексеев В.В., Березкин М.Ю. Пресная вода из атмосферного воздуха // Природа. 1998. № 6. С.90—96.

Только срочное принятие решительных и крупномасштабных мер способно, по мнению специалистов, устранить грозящую опасность.

Астрофизика

Разнородное семейство Юпитера

Как известно, четыре крупнейших спутника Юпитера были открыты еще Галилеем. Три из них по размерам превосходят Луну, а самый крупный — Ганимед — даже больше самостоятельной планеты Меркурий. В течение трех с половиной столетий эти небесные тела во многом оставались загадочными. И лишь совсем недавно, когда на орбиту вокруг Юпитера вышла автоматическая межпланетная станция «Галилео», пробыли в наших познаниях начали мало-помалу заполняться.

Приборы, установленные на этой станции, засвидетельствовали, что Ганимед, к удивлению специалистов, обладает собственной магнитосферой и магнитным полем. Возникло предположение, что и у других спутников Юпитера магнитное поле может существовать.

В мае 1997 г. астрофизики Д.А.Гарнетт, У.С.Керт (D.A.Gurnett, W.S.Kurth; Университет штата Айова, США) и А.Ру (A.Roux; Версальский университет, Сен-Квентин, Франция) завершили обработку информации, поступавшей от «Галилео» в период, когда он проходил вблизи Каллисто — второго по величине спутника Юпитера. Приборы зафиксировали плазменные волны в атмосфере Каллисто, однако ре-

зультаты указывают на отсутствие у спутника собственного магнитного поля. В то же время концентрация электронов вблизи Каллисто намного больше, чем в магнитосфере Юпитера, где проходит орбита спутника. Плазма — результат ионизации сильно разреженной атмосферы Каллисто, что напоминает образование плазмы и в облаке водорода вокруг Ганимеда, имеющем близкие значения электронной плотности.

Отсутствие магнитосферы разительно отличает Каллисто от других спутников Юпитера. Оказывается, у Ганимеда, Европы и Ио — собственные внутренние магнитные поля, а у Каллисто его нет. Ученые предполагают, что вещество в этих трех спутниках дифференцировано: в глубине — металлическое ядро, поверх него — силикатная мантия и затем — толстый внешний слой льда. Причем проводящие ядра этих тел находятся в расплавленном состоянии, и конвективные движения в них порождают магнитные поля. В отличие от них, как показывают последние наблюдения, Каллисто представляет собой довольно однородно распределенную смесь камня со льдом, за исключением тонкого ледяного «катка» на поверхности; металлического ядра у этого спутника нет. Чем вызвано такое несходство Каллисто с Ганимедом, размеры которых столь мало отличаются друг от друга? Ведь разогрев этих тел при аккреции и распаде радиоактивных элементов, происходивших на ранних этапах их истории, был бы, казалось, примерно одинаковым.

Ответ, возможно, в том, что Ганимед проходил по «резонансной» орбите, некогда столь близкой к Юпи-

теру, что его мощное приливное тяготение «раскачивало» спутник, доводя породы до точки плавления, а Каллисто, по всей видимости, избежала этих жарких «объятий».

Nature. 1997. V.387. № 6630. P.237, 261 (Великобритания).

Планетология

«Черное озеро» на Марсе

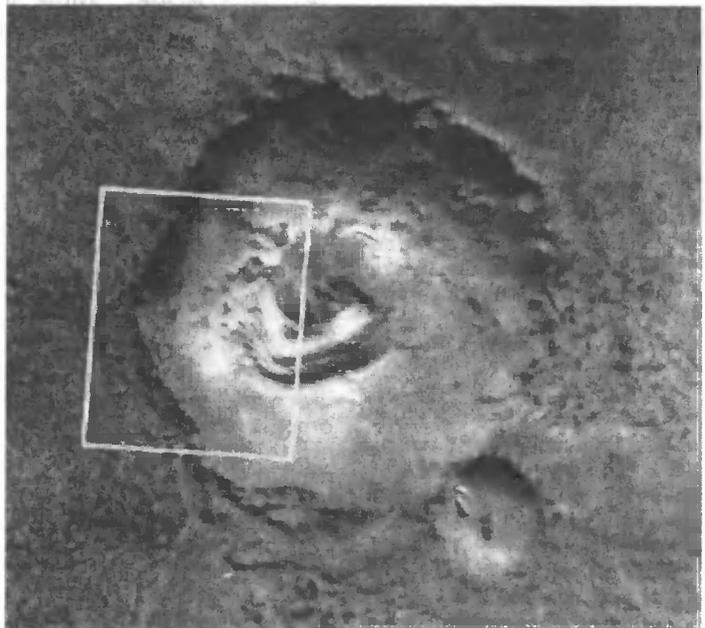
Новые изображения поверхности Марса, полученные летом 1998 г. космическим аппаратом «Mars-Global-Surveyor», продолжают преподносить сюрпризы исследователям.

На снимке 1978 г., сделанном камерой аппарата «Viking Orbiter», виден в центре (65.1° ю.ш., 15.1° з.д.) пятидесятикилометровый ударный кратер обычного вида, припорошенный осенним

инеем. Почти ровно через двадцать земных лет, когда в этих широтах Марса была весна, камера «Mars-Global-Surveyor» сделала новый снимок, 7707, с более высоким разрешением. На нем видны темные, вероятно, эрозионные рытвины на западной части вала кратера и странная темная область на его днище.

Целый ряд признаков свидетельствует о том, что на поверхность Марса когда-то воздействовала текущая жидкость (скорее всего, вода): известны огромные долины истечения и долинные сети¹. Однако до сих пор бесспорные следы существования водоемов не были обнаружены. Снимок 7707, возможно, проливает свет на эту проблему. Во-первых, морфология рытвин в запад-

¹ См. также: Марченко А.Г. История формирования устья долины Арес (Марс) // Природа. 1997. № 12. С.57—61.



Снимок, полученный аппаратом «Viking Orbiter» в 1978 г. (северверху, освещение из правого верхнего угла).

ной части кратера позволяет предположить, что они сформированы просачивавшейся из-под поверхности водой. Во-вторых, граница между светлым и темным материалами на днище кратера, которая как бы обрисовывает заливы, полуострова и острова, напоминает границу водоема или отложений, сформировавшихся в водоеме. Таким образом, просачивавшаяся из стенок кратера жидкость (вода?) могла образовать на его днище озеро, из вод которого осаждался темный материал.

В пределах темной области хорошо различаются гряды северо-западной ори-

ентировки. Они могут иметь золотое происхождение и относиться к периоду как до, так и после существования водоема; не исключено также, что эти гряды сформировались под водой.

Отсутствие на поверхности темного материала ударных кратеров свидетельствует либо о молодости материала, либо о недавней переработке поверхности.

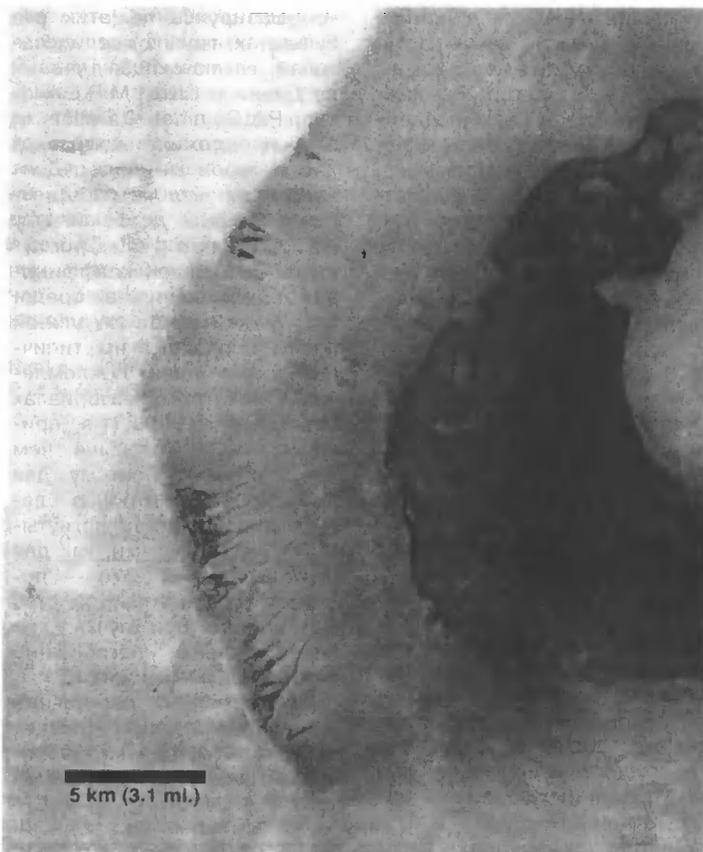
Отложение осадков из водоема — пока всего лишь гипотеза. Темный материал мог быть, например, лавой: вероятность существования жидкой воды вблизи Южного полюса Марса вызывает сомнения. Наверное, будущие

фотографии с аппарата «Mars-Global-Surveyor» смогут внести ясность в решение этой проблемы.

Публикуемые снимки предоставлены в сеть Интернет компанией «Malin Space Science Systems» и НАСА США. Они предназначены для широкой аудитории и не могут быть использованы для научных исследований до конца 1998 г. В течение этого промежутка времени НАСА запрещает даже ссылаться на них в специальных научных публикациях. Дополнительную информацию по этим и другим изображениям Марса, сделанным космическим аппаратом «Mars-Global-Surveyor», можно получить по адресам:

<http://www.msss.com>
<http://marsweb.jpl.nasa.gov>

Malin Space Science Systems
 Web Page. 1998 (США).



Изображение района, отмеченного на фото 1978 г. белым прямоугольником, — снимок 7707, сделанный аппаратом «Mars-Global-Surveyor» (освещение из левого нижнего угла).

Астрономия

Непростое кольцо Сатурна

Американский космический аппарат «Вояджер-1», проходивший в 1980 г. в окрестностях Сатурна, передал на Землю изображения колец, окружающих планету, что в свое время вызвало сенсацию. На снимках строение кольца F выглядело подобно перовитой «девичьей косе»: материя местами скапливалась, местами расходилась, образуя узлы, петли или перегибы. Однако «Вояджер-2», посетивший этот же район девять месяцев спустя, нашёл строение кольца F значительно более простым: «пряди» материи уже не пересекались между собой.

С объяснением этих странностей выступила на

конференции Национального астрономического общества Великобритании (Саутгемптон, июль 1997 г.) группа ученых, возглавляемая К.Мюрреем (K.Murray; Вестфилдский колледж им. королевы Марии, Лондон). Заново обработав данные наблюдений, астрономы построили математическую модель, не предполагающую серьезного изменения структуры кольца за столь короткий период времени. В модели было учтено влияние, которое должны оказывать на кольцо близлежащие к нему спутники Сатурна — Прометей и Пандора.

Исследователи установили, что кольцо F следует считать не единым образованием, а комплексом отдельных колец со сходными, но не идентичными орбитами. Небольшое расхождение осей вращения приводит к тому, что кольца на одной долготе выглядят параллельными друг другу, а на другой — взаимопересекающимися.

Очевидно, снимки «Вояджера-2», отразившие более простое строение кольца, охватывали район, где наблюдалось параллельное расположение его составляющих, а «Вояджера-1» — где происходило кажущееся их «перехлестывание».

После пролета «Вояджера» кольцо F наблюдалось еще раз — в 1995 г., когда Земля пересекала плоскость колец Сатурна (причем это стало возможным исключительно благодаря Космическому телескопу им. Хаббла). Полученные изображения позволили установить, что локализованные по азимуту обширные структуры, ранее принимавшиеся за «луны» Сатурна, следует считать лишь временными образованиями материи в пределах кольца F. Сроки их «жизни» определяются сутками, а не годами. Кроме того, в движе-

нии спутников Сатурна была обнаружена неожиданная особенность. До сих пор их считали как бы «пастухами», сохраняющими стабильность кольца. Однако Прометей, который крупнее других и ближе к планете, оказался отстающим по дуге на 20° от точки, где он должен был бы находиться, согласно вычислениям. Раз в 19 лет Прометей попадает в пределы кольца F, что и может вызывать такое запаздывание. Однако характер взаимодействия кольца и спутника остается неясным: какие-то факторы должны способствовать сохранению кольца как целого и в то же время определять его азимутальные вариации. По мнению исследователей, в динамике кольца и спутников-«пастухов» присутствует еще какой-то скрытый фактор. Возможно, что одна из «прядей» кольца имеет плотное ядро, по массе близкое Прометею, либо в этой области существуют другие, не открытые, спутники. Надежда прояснить ситуацию возлагается на космический аппарат «Кассини», запущенный к Сатурну в октябре 1997 г.

Astronomy and Geophysics. 1997. V.38. № 3. P.7 (США).

Физика

Линзы для фокусировки нейтронов

В ходе исследований, связанных с использованием низкоэнергетических нейтронов, часто возникает необходимость повысить плотность потока частиц в пучке, так как существующие источники нейтронов не обладают достаточной яркостью.

Для увеличения плотности пучка были созданы нейтронные оптические устройства, основанные либо на

брегговской дифракции нейтронов в деформированных кристаллах, либо на отражении частиц от внутренних стенок капиллярных фокусирующих трубок (линзы Кумахова). В то же время для рентгеновских лучей, которые также часто требуются сфокусировать, А.Снигирев с сотрудниками¹ предложили и в 1996 г. успешно испытали компаундные преломляющие линзы. Они аналогичны обычным оптическим линзам для видимого света, но с той лишь разницей, что коэффициент преломления лучей с энергией квантов 5—40 кэВ в рентгенопрозрачных материалах отличается от единицы на очень малую величину $\sim 10^{-5}$.

Базируясь на этих результатах, группа исследователей, включающая ученых из Дании и США (M.R.Eskildsen, P.L.Gammel, C.Detlefs et al.), предложила компаундные нейтронные линзы. Движущимся нейтронам соответствуют волны де Бройля, у которых, как и у электромагнитных волн, свой коэффициент преломления в среде. Так, у нейтронов с длиной волны порядка 1 нм типичный коэффициент преломления в некоторых материалах составляет 0.9999 (т.е. примерно на 10^{-4} меньше, чем для вакуума). Поэтому для фокусировки нейтронов следует линзы делать вогнутыми, а не выпуклыми, как для световых лучей. Это — полезное обстоятельство, так как вблизи оси пучка, где линза тоньше, поглощение нейтронов уменьшается.

Фокусное расстояние одиночной линзы будет около 100 м, однако, увеличивая число последователь-

¹ Snigirev A., Kohn V., Snigireva I., Lengeler B. // *Nature*. 1996. V.384. P.49—51.

но стоящих линз, фокус можно приблизить. В Кембридже собрали систему из 30 двояковогнутых линз диаметром 25 мм. Это были стандартные линзы из MgF_2 , применяемые в инфракрасной технике. Сборка позволила сфокусировать нейтроны с длиной волны 1.4 нм в пятно площадью 120 мм², лежащее на расстоянии 3.3 м. На указанной длине волны плотность потока частиц возросла примерно в 2.5 раза, а для более коротковолновых нейтронов получено усиление в 10—15 раз.

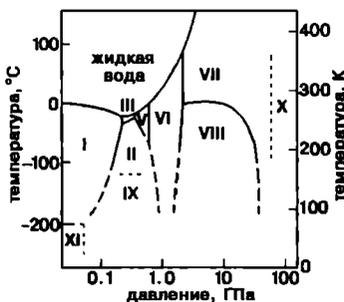
С точки зрения максимальной фокусировки дифторид магния — далеко не оптимальный материал. В качестве лучших кандидатов для материала линз предполагают использовать графит и оксид бериллия, а также кристаллы диоксида углерода. Последние, правда, придется хранить при низкой температуре, что, впрочем, не сложнее, чем поддерживать вакуум в длинных каналах существующих нейтронных источников, тем более что линзы позволят эти каналы укоротить.

Nature. 1998. V.391. № 6667. P.563—566 (Великобритания).

Химическая физика

Открыта новая фаза льда

До сих пор было известно, что в зависимости от условий кристаллизации вода может образовывать 11 различных структур. В них молекулы соединены водородными связями в тетраэдрическую сетку так, что рядом с каждым атомом кислорода располагаются четыре атома водорода.

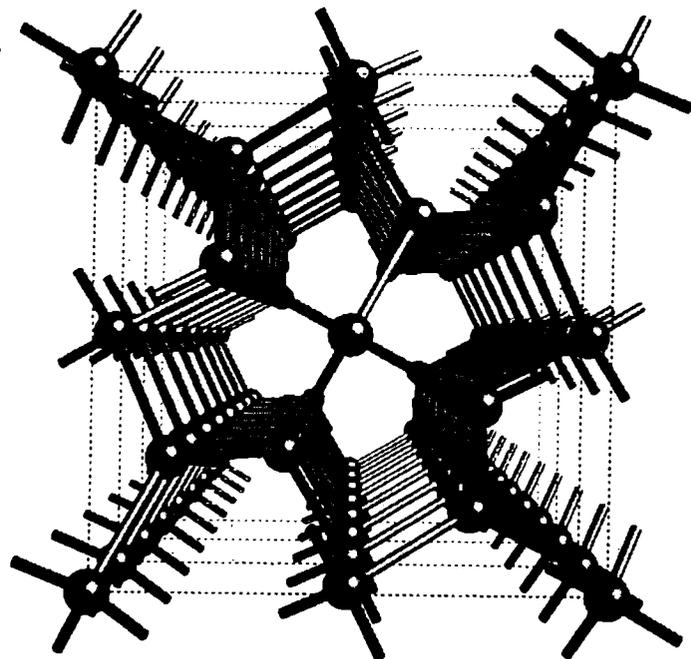


Часть фазовой диаграммы льда. В области V могут формироваться метастабильные фазы IV и XII.

К.Лоббан, Дж.Финни (C.Lobban, J.Finney; Лондонский университет) и В.Кус (W.Kuhse; Геттингенский университет, Германия) получили и исследовали нейтроннографически новую, 12-ю фазу льда, которая образует-

ся в интервале давлений 0.2—0.6 ГПа (1 ГПа=10 Кбар). Авторы назвали новую фазу лед-XII, исходя из общепринятой практики присвоения структурным модификациям римских номеров: кристаллическая фаза должна быть установлена экспериментально, описана кристаллографически и удовлетворять критерию экспериментальной проверки.

Плотность льда в этой фазе (1.44 г/см³) очень близка к значению для фазы IV, причем обе они метастабильны и располагаются на фазовой диаграмме внутри стабильной, несколько менее плотной (1.40 г/см³) модификации лед-V. В то же время топологически структуры в обеих фазах весьма различны. Например, в новой фазе имеются пяти- и семичленные циклы из молекул воды,



Структура новой кристаллической фазы льда. Атомы кислорода показаны шариками, водородные связи — стерженьками.

ранее обнаруженные в структурных модификациях III и V. Характерная особенность обеих метастабильных фаз IV и XII в том, что в обоих случаях атомы водорода позиционно слегка разупорядочены относительно «правильных» положений в решетке.

Удивительное разнообразие фаз льда, отраженное на диаграмме состояний, есть результат структурной податливости молекул воды. Образование той или иной фазы определяется не только значениями температуры и давления, а зависит, в частности, от пути перехода к конечному состоянию. Например, двукратное увеличение скорости охлаждения льда в интервале температур от 260 до 270 К при давлении 0.55 ГПа приводило к формированию стабильной фазы V, а не XII. Гибкость водородных связей, задающих структуру решетки, тонко реагирует на изменения внешних условий, поэтому формирование фаз происходит в условиях delicateго баланса различных вкладов во внутреннюю энергию кристалла. Исследователи подчеркивают, что методы расчета термодинамических потенциалов воды, принятые в компьютерном моделировании химических и биомолекулярных систем, требуют критического пересмотра.

Возможность получения в одной области давлений и температур трех различных кристаллических модификаций — стабильной (V) и двух метастабильных (IV и XII) — показывает, что вода в этих условиях может служить отличной моделью для общего изучения термодинамики и кинетики образования фаз.

Nature. 1998. V.391. № 6664. P.268—270 (Великобритания).

Биология

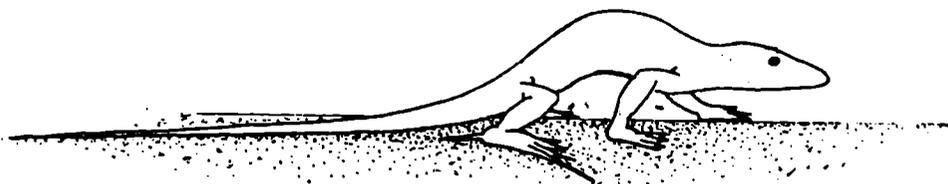
Ящерицы мимикрируют под... жукелиц

Среди земноводных и пресмыкающихся можно найти много примеров покровительственной окраски и формы тела (криптической и мимикрической). Но южноафриканская ящерица *Helicobolus lugubris* представляет собой один из наиболее удивительных случаев такого подражания.

Этот вид относится к семейству настоящих ящериц, представители которых — прыткая и живородящая — хорошо известны у нас в стране. Да и внешне хелиоболус напоминает обычную прыткую ящерицу. А вот ее детеныши совершенно не похожи на родителей: по окраске и рисунку на теле они больше напоминают... обитающих в тех же краях хищных жуков-жукелиц, относящихся к родам *Anthia* и *Thermophilum*. Необычный феномен столь разительного несходства взрослых ящериц и их детенышей давно привлекает внимание исследователей. Выдвигалось несколько предположений о его причинах и биологическом значении, в их числе: снижение агрессивности со стороны взрослых (ящерицы «не признают» молодь за свою и не гоняют ее); терморегуляция (черные, как жукелицы, детеныши быстрее согреваются на солнце); защита от разрушающего действия ультрафиолетовых лучей; и наиболее экстравагантная гипотеза — о мимикрии детенышей ящериц под упомянутых выше жукелиц. Последнее не лишено смысла: хищные, сильные, защищенные прочным панцирем да к тому же ядовитые жукелицы не вызывают особого интереса у врагов, а многих даже пуга-

ют. Сходство с ними вполне может быть полезным для совершенно беззащитных животных, к которым, без сомнения, относятся ящерицы. Но уж слишком непохожи внешне ящерицы и жуки!

Более подробно этот феномен изучил А.Шмидт (A.D.Schmidt; Зоологический научно-исследовательский институт и Музей Александра Кёнига, Германия). Он тщательно проанализировал особенности окраски, поведения и биологии *H.lugubris*, взятых из различных мест обитания, и отметил дополнительные факты. Самое примечательное — неодинаковость окраски хвоста у молодых ящериц разных биотопов. Оказалось, что она варьирует от популяции к популяции и всегда соответствует основной окраске грунта в данном месте. Видимо, это связано с тем, что, мимикрируя под жука, ящерице необходимо сделать хвост как можно менее заметным. Поэтому все ее тело окрашено как у жукелицы, а хвост сливается с субстратом и «невидим». Кроме того, если другие ящерицы при опасности совершают ярко окрашенным хвостом вибрирующие движения, отвлекая внимание хищника от более важных частей тела (а затем отбрасывают хвост, спасая свою жизнь), то молодые хелиоболусы в подобных ситуациях чаще держат хвост неподвижным — незаметным на субстрате. К тому же молодые хелиоболусы передвигаются необычно выгнув спину, что усиливает их сходство с жуками. Все это и привело немецкого исследователя к твердому убеждению: феномен возрастного диморфизма у *H.lugubris* связан именно с мимикрией молодых ящериц. Наблюдающиеся в природе различия в биологии молоди и взрослых



Способ передвижения хелиоболусов с необычно выгнутой спиной не известен у других ящериц и, в дополнение к окраске, действительно придает им сходство с жуками.

особей этого вида — следствие внешнего различия. Например, черные детеныши, действительно, нагреваются на солнце гораздо быстрее, чем их родители, и поэтому активны при более низких температурах.

Подтверждение этой гипотезы дополняет внутривидовой диморфизм среди пресмыкающихся еще одним любопытным явлением — мимикрией ящериц под жуков.

Senckenbergiana Biologica. 1997. V.77. № 1. P.1—13 (Германия).

Зоология

Термиты травят муравьев нафталином

Нафталин знают все. Старинное и до сих пор широко применяемое средство против насекомых, пожирающих ткани и меха, например против платяной моли и жука-кожееда. Убивает также бактерий. Эффективен против глистов. Запах нафталина отпугивает белок, летучих мышей, кроликов, голубей, скворцов, воробьев. Но тот факт, что нафталин используют насекомые для борьбы с другими насекомыми — нечто новое в зоологии!

Эту удивительную способность обнаружили у тайваньского подземного термита *Coptotermes formosanus*

американские энтомологи и биохимики из Университета штата Луизиана в Батон-Ружа и Южного регионального исследовательского центра Министерства сельского хозяйства США в Нью-Орлеане¹. Тайваньский термит сооружает в земле сложные лабиринты ходов и выстилает их своеобразным «картоном» из пережеванной древесины, земли, собственной мочи и экскрементов. В этом-то картоне и обнаружены нафталин. Он летуч, и его пары быстро наполняют подземные ходы. Концентрация нафталина невелика (0.05-0.21 мг на 1 кг экстракта из картона) и самому термиту видимого вреда не причиняет. Но не его врагам. Самый опасный враг — хищный огненный муравей *Solenopsis invicta*. Та концентрация нафталина, которая не вредит термиту, вызывает у муравья паралич! Кроме того, нафталин убивает патогенные грибки, которые губят термитов (в их присутствии колония термитов не может возникнуть), и паразитирующих в термитах нематод.

Хотя огненный муравей на Тайване — вселенец, видимо, исторически муравьи — более опасные враги термитов, чем муравьеды, трубказубы, броненосцы и прочие любители этих насекомых: они невероятно многочисленны, вездесущи, быстро размножаются и всегда рядом с термитами.

Может быть, и окуливание своих гнезд нафталином термиты выработали именно для борьбы с муравьями!

В ходе работы неожиданно выяснилось, что нафталин для термитов — не только средство защиты, но и «путеводный знак». Исследователи прочерчивали карандашом два пересекающихся круга. Один круг проводили, обмакнув кончик карандаша в раствор нафталина в гексане, другой — просто в гексан. Термиты-солдаты точно, не отклоняясь ни на миллиметр, следовали по линии карандаша, пахнувшего нафталином, и не обращали внимания на круг, пахнувший одним гексаном.

Нафталин — природный продукт. Он содержится в угле и нефти, из которых его и получают (путем кристаллизации нафталиновой фракции каменноугольной смолы и пиролиза нефтяного сырья). Получают его также при неполном сгорании разных органических веществ. Содержится он и в некоторых живых организмах, например в цветках магнолии и, как ни странно, в предглазничной железе самцов белохвостого оленя. Эта крупная кожная железа находится впереди и пониже глаза. В брачный период олени осторожно трутся этим местом о сучки и веточки, помечая свою территорию.

Но вот откуда берут нафталин термиты и как они выработали способность переносить нафталин в смертельной для муравьев концентрации — это пока загадка.

© К.Н.Несис,

доктор биологических наук
Москва

¹ Chen J., Henderson G., Grimm C.C., Lloyd S.W., Laine R.A. // Nature. 1998. V.392. № 6676. P.558—559.

Ботаника

Декоративное дерево губит эндемичную флору

Уже две трети территории о.Таити (общая площадь острова 700 км²) покрыли заросли дерева *Miconia calvescens* (семейство *Melastomataceae*). В течение полувека они интенсивно заполняют острова всей Французской Полинезии. Эти довольно высокие деревья (до 15 м) с окрашенной в пурпурный цвет тыльной стороной листьев наиболее густо разрослись на о-вах Таити, Раиатеа, Муреа. В меньшей степени заросли *M.calvescens* угрожают древесным породам на о-вах Общества, Гамбье и Туамоту, а также на Маркизских о-вах.

Благодаря высокой скорости репродукции и быстрому росту (1.5 м/год), отмечает Ж.И.Мейер (J.-Y.Meuer; Центр научных исследований заморских территорий Франции), эти деревья образуют очень плотные покровы, которые ограничивают поступление солнечного света к другим растениям, мешая их росту.

Уроженец Центральной Америки — *M.calvescens* как декоративное дерево было интродуцировано на Таити в 1937 г., но сейчас оно превратилось во врага номер один для всей эндемичной флоры острова.

Science et Vie. 1998. № 964. P.28 (Франция).

Этология

«Ненужного» самца убивают

У некоторых видов ос жизненная роль самцов сводится лишь к продолжению

рода, а все обязанности, связанные с кормлением и домашними заботами, возложены на самок. Поэтому, как только самец оплодотворит «царицу», он становится общине в тягость.

Интересную особенность поведения ос вида *Polistes dominulus* наблюдали Ф.Старкс и Э.По (P.Starks, E.Poe; Корнеллский университет, Итака, штат Нью-Йорк).

Они установили, что самки нередко силком заталкивают ставших «ненужными» для колонии самцов головой вперед в пустующие ячейки гнезда, подолгу не выпускают их оттуда и морят голодом. Затем пронзают ослабевшую особь своим жалом и держат так несколько минут, пока не убедятся, что она мертва.

Nature. 1997. V.389. № 6650. P.450 (Великобритания).

Этология. Охрана природы

Сексуальная агрессия тюленей

На этом, к сожалению, не совсем удачном снимке запечатлена с разодранной в ключья спиной самка тюленя-монаха — редкого подвида (*Monachus shauinslandi*), обитающего только на Гавайских о-вах. И искалечена она вовсе не акулой, как может

показаться на первый взгляд, а... самцами, причем несколькими. Надо отметить, что агрессивность самцов тюленей-монахов в период спаривания — явление нормальное в природе: поскольку половой акт происходит в воде, самец, чтобы приостановить плывущую самку, кусывает ее спину.

Не так давно ученые наблюдали, как группа самцов тюленей-монахов, насчитывающих более 20 особей, в течение нескольких часов терзали самку во время спаривания. Чем же объясняется такое групповое поведение самцов? Как выяснилось позже, это было связано с дисбалансом в численности самцов и самок на некоторых Гавайских о-вах.

Биологи были обеспокоены тем, что существование подвида поставлено под угрозу. За последние годы стадо местной популяции уменьшилось более чем на 1400 голов. В 1994 г. с о.Лайсан часть самцов, численность которых значительно превышала численность самок, была переселена на другие, находящиеся между о-вами Кауаи и Гавайи. Как сообщил Т.Раген (T.Ragen; Национальная служба морского рыболовства США), гибель тюленей на о.Лайсан по данным за 1996 г. не отмечена. Между тем до осуществления программы переселения там ежегодно погибало по крайней мере четыре особи. «Конечно, мы



не думали, что с перемещением самцов закончатся их групповые агрессивные действия по отношению к самкам, — говорит Раген, — но питали надежду, что в значительной степени они сократятся. И действительно, теперь такие случаи фиксируются лишь изредка».

Discover. 1997. V.18. № 16. P.29 (США).

Экология

Норка в Британии стала вредителем

В 50-х годах с нескольких шотландских пушных ферм сбежало небольшое число американских (восточных) норок (*Mustel vison*). Сегодня их в естественной среде Великобритании насчитывается десятки тысяч. Этот хищник, ведущий полуводный образ жизни, питается птенцами, яйцами, мелкими млекопитающими и рыбой. Экологи утверждают, что норки сильно нарушают природный баланс животного мира страны.

Биолог К.Крейк (С. Craik; Шотландская ассоциация морских наук) связывает с этими хищниками катастрофическое падение численности крачек (*Sterna*) на всем тысячекилометровом побережье между Маллейгом (крайний северо-запад Шотландии) и Кэмпбелтауном (юг Шотландии). За последние 10 лет число их гнездящихся пар снизилось с 1840 до 1025 — разница составляет около 4.5% всей британской популяции крачек. С 1989 по 1996 г. число гнездящихся пар чайки обыкновенной (*Larus ridibundus*) уменьшилось с 1140 до 800. Характерно, что в местностях, где присутствует

норки не отмечено, численность того и другого вида птиц хотя и незначительно, но возросла. На 15 обследованных прибрежных британских островах, обжитых норкой, колонии морских птиц сократились более чем на 90% или же полностью исчезли.

Экологи Оксфордского университета (Англия) установили, что за последние 15 лет в большинстве английских рек пропали водяные полевки (*Arvicola Lacépède*). В отношении Темзы, Сора и Амбера, где это исчезновение произошло всего за два года, объяснить его появлением норки можно с уверенностью.

Норка восточная — обычна для Северной Америки; в Европе ранее не встречалась. Пока никаких мер борьбы с ней специалисты не предлагают.

Bird Study. 1997. V.44. P.303 (Великобритания).

Охрана природы

Меры спасения морских черепах

Бедственное положение морских черепах в Мировом океане вызывает все возрастающую тревогу у специалистов, практиков, широкой общественности. Причины исчезновения этих морских исполинов уже достаточно хорошо изучены, но предупредить их гибель — задача очень непростая. Все же есть и успехи.

Так, Ч.Оравец (С. Oravetz; Национальная служба морского рыболовства США) сообщил на III Всемирном герпетологическом конгрессе в Праге об успешной разработке и применении устройства, осво-

бождающего морских черепах, случайно попавших в тралы. Гибель в рыболовных снастях — одна из основных причин сокращения их численности. Запутавшиеся в сетях гиганты задыхаются под водой. Только у юго-восточных берегов США ежегодно при тралении креветок в сети попадает около 47 тыс. морских черепах и более 11 тыс. погибают до того, как тралы поднимут на борт.

Разработанное в 80-х годах устройство позволяет освобождать до 97% черепах, случайно попавших в беду, что может существенно снизить негативное влияние рыболовства. В 1989 г. Соединенные Штаты Америки потребовали от всех иностранных экспортеров креветок использовать при тралении это приспособление. Следует отметить, что креветок поставляют в США свыше 70 стран, и 24 из них применяют снасти, опасные для черепах. Национальная служба морского рыболовства США предоставляет заинтересованным странам технологию изготовления разработанного устройства и инструктирует специалистов по его применению.

Остается надеяться, что быстрое и широкое внедрение щадящих технологий окажет заметное влияние на состояние морских черепах.

Abstracts of the Third World Congress of Herpetology, Prague, 1997. P.155.

Медицина

День здоровья — День безопасного материнства

50 лет назад, в 1948 г., был утвержден и вступил в силу Устав Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Ныне ВОЗ подвела

некоторые итоги своей деятельности за этот период и дала оценку положения в отдельных областях здравоохранения во всем мире.

Особую тревогу вызывает состояние такой важной сферы, как охрана материнства и младенчества. Установлено, что ежегодно на земном шаре более 50 млн женщин подвержены осложнениям во время беременности и родов, причем во многих случаях это приводит к хроническим заболеваниям и даже к смерти. В первую очередь это характерно для развивающихся стран — в развитых налажена сеть наблюдения за здоровьем роженицы и ребенка. Из 1600 женщин, которые ежедневно погибают вследствие патологий беременности или при родах, большинство проживает именно в развивающихся странах.

Почти 90% смертности во время беременности и родов приходится на страны Азии и Африки южнее Сахары, около 10% — на развивающиеся страны в иных регионах и менее 1% — на развитые государства. Женщин с не смертельными, но пожизненными осложнениями сейчас насчитывается около 300 млн; традиции и обычаи некоторых народов иногда превращают этих больных в отверженных и бездомных людей.

В среднем по всей Земле на 100 тыс. детей, рожденных живыми, приходится около 430 погибших матерей, но величина эта распределена крайне неравномерно: в развивающихся странах — почти 480, а в развитых — лишь 27. Из 100 африканок в связи с беременностью и родами суждено погибнуть каждой 16-й, в Азии — каждой 65-й, в Латинской Америке — 130-й, во всех же промышленно развитых государствах, взя-

тых вместе, — лишь одной из 1800.

В мире ежегодно трагически завершается почти 8 млн попыток обзавестись потомством. Большой части случаев мертворождения, гибели плода после 28 недель вынашивания и смерти ребенка в первую неделю его жизни можно было бы избежать, улучшив условия и медицинское обслуживание беременных.

Статистика показывает: каждый год примерно 60 млн родов происходит в присутствии лишь одного члена семьи, никак не обученного «помощника» или вообще в одиночестве; с помощью квалифицированного врача, акушерки или хотя бы повивальной бабки в развивающихся странах осуществляется только 53% родов. В этих странах менее 30% рожениц получают хоть какое-то вспомоществование после появления младенца на свет, хотя именно на это время приходится наибольшая смертность. И здесь разброс условий очень велик: в развитой стране уход получают 90% молодых матерей, а в самой бедной — лишь 5%. По мнению генерального директора ВОЗ Х.Накадзима (H.Nakajima), специалисты знают, как улучшить ситуацию коренным образом и видят реальные источники финансирования. Предлагаемые меры по обеспечению помощью матерей при родах не сложные и достаточно дешевы. Они обошлись бы всего в 3 долл. США на каждую роженицу.

ВОЗ предлагает в этом году широко отметить Всемирный день здоровья в ракурсе проблем материнства и положения женщины в обществе.

Press Release World Health Organization. 6 April 1998. № 33 (Швейцария).

Геофизика

Земная кора движется на «газовой смазке»

Известный высокой сейсмичностью разлом земной коры Сан-Андреас в штате Калифорния отделяет Северо-Американскую плиту, перемещающуюся на юго-восток, от Тихоокеанской,двигающейся на северо-запад. На некоторых участках этих плит существуют «выступы»; сцепляясь, они сдерживают движение, что ведет к накоплению в земной коре напряжений. Когда они достигают прочности пород, плиты «обламываются», вызывая землетрясение.

За миллионы лет в ходе такого прерывистого движения плиты успели проделать путь в сотни километров. Казалось бы, при трении мощных геологических пластов должна выделяться значительная тепловая энергия, а недра в области разломов должны быть сильно разогреты. Однако, несмотря на усилия, предпринимаемые геофизиками в течение 30 лет, разогреть породы пока не обнаружены. По всей видимости, причину нашли сотрудники Геологической службы США (Мэнло-Парк, Калифорния), возглавляемые И.Харакой (Y.Kharaka).

Ученые взяли пробы воды из ключей, колодцев и других источников, расположенных вдоль разлома Сан-Андреас (пробы отбирались по принципу необычно высокой температуры или значительной концентрации минеральных веществ, что указывает на их глубинное происхождение и интенсивное взаимодействие с окружающей средой). В каждой пробе определялось соотношение изотопов гелия-3 и гелия-4 в сравнении с их содержанием в атмосферном



Схема района Сан-Андреас.

воздухе. Это позволяло установить, имеются ли в воде вещества мантийного происхождения, поскольку известно, что в земной коре отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ составляет 0.02, а в «чистой мантии» оно близко к 8.0. Оказалось, что исследуемые образцы по сравнению с «нормальной» корой обогащены ^3He (0.12—4.0).

Чтобы на границах огромных взаимодействующих плит заметно снижалось трение, количества поступающего из недр гелия явно недостаточно. Однако исследователи указывают, что каждый атом ^3He в мантии Земли всегда сопровождается 10^{10} молекулами CO_2 . Построенная математическая модель показывает, что диоксид углерода способен в этих условиях ослаблять сдавливание соседних плит настолько, что их взаимное трение изредка резко снижается. Это и позволяет плитам «проскальзывать» друг относительно друга практически без выделения тепла.

Ознакомленный с этой работой геофизик М.Зобак (M.Zoback; Станфордский университет, Калифорния) признал ее весьма интересной и предложил проверить выводы авторов, изучив образцы «чисто мантийных»

газов, которые в районе разлома должны находиться под высоким давлением.

Science. 1997. V.278. № 5341. P.1278 (США).

Петрология

Новая модель земной мантии

Петрологические и геохимические данные говорят о том, что верхняя мантия Земли (глубина от 100 до 600 км) состоит в основном из оливина, пироксена и граната, но в каких пропорциях — пока неясно. Между тем ответ на этот вопрос важен для понимания конвекционного режима в мантии.

Если принять, что верхняя мантия состоит главным образом из пироксена и граната и примерно на 40% из оливина (так называемая пиклогитовая модель), то тогда неизбежен большой химический контраст между ней и нижней мантией. В этом случае в мантии должна существовать конвекционная система при совсем незначительном (или нулевом) массообмене между ее верхней и нижней частями. Если же верхняя мантия на 60% состоит из оливина (пиролитовая модель), то по химическому составу практически нет отличия между ней и нижней мантией, и тогда возможна конвекция мантии в целом.

В принципе проблему можно было бы решить путем сопоставления результатов лабораторных измерений скоростей сейсмических волн в различных веществах с натурными геофизическими данными. Но за последние 15 лет накопилось столько экспериментальных данных, что согласовать геохи-

мически приемлемые модели с наблюдаемой сейсмической картиной стало очень сложно.

Все же некоторый путь разрешить проблему можно найти, предположив наличие химической стратификации между самой верхней мантией (около 100—410 км) и переходной зоной (410—600 км). При давлениях и температурах, соответствующих глубине около 410 км, оливин $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ превращается в более плотный полиморф — вадслеит (его нередко ошибочно именуют бета-фазой, или модифицированной шпинелью). Лабораторные испытания модулей упругости обоих полиморфов Mg_2SiO_4 указывают, что подобный переход сопровождается изменением скорости сейсмических волн примерно на 13%. Но на таких глубинах, согласно геофизическим моделям, скорости должны меняться лишь на 3—5%. Эти значения позволяют оценить содержание оливина в верхней мантии примерно в 40%.

Однако фактические измерения, выполненные при высоких температурах и давлениях, показывают, что скорости сейсмических волн в оливине и оливино-пироксеновой смеси соответствуют, как предполагается, тем значениям, которые характерны для верхней мантии на глубинах от 200 до 400 км. Так как гранату свойственны значительно большие скорости, чем оливину, а высокоплотные клинопироксены обычно считают в этом отношении схожими с оливином, то эти данные делают гипотезу «безгранатовой» мантии неприемлемой в петрологическом смысле.

Поэтому предположили, что на глубине «410 км в результате перехода от пироксена к гранату возникает разрывное напряжение в богатой натрием верхней

мантии, которая служит остатком некогда существовавшего океана магмы. Из такой модели следует, что никакой (или почти никакой) конвекции в верхней мантии не происходит, но это трудно согласовать с существующим движением плит земной коры.

Разрешение всех этих противоречий возможно при рассмотрении новейших данных и построении значительно более сложной в химическом плане модели верхней мантии и переходной зоны с учетом влияния Fe и H₂O. Оливин (MgFe)₂SiO₄ трансформируется в вадслеит того же состава, но в присутствии граната происходит реакция, приводящая к образованию вадслеита, который по сравнению с оливином обогащен железом. Такое обогащение снижает скорости сейсмических волн в вадслеите. Более того, вадслеит накапливает значительно больше водорода, чем оливин, что приводит к изменению его кристаллической структуры. Влияние такого преобразования на упругие модули пока не изучено, но можно предполагать общее дополнительное «смягчение» структуры с соответствующим замедлением скорости сейсмических волн.

Следовательно, при переходе от оливина к вадслеиту, обогащенному водородом и железом, скачкообразное увеличение сейсмической скорости, происходящее на глубине ≈410 км, должно быть меньшим, чем при переходах в оливине и вадслеите, имеющих одинаковый состав. Поэтому для получения одинакового скачка скоростей требуется больше оливина, чем при прежней упрощенной изохимической модели. И тогда, по мнению Р.Ангеля (R. Angel; Баварский геоинститут при Байрейтском университете,

Германия), споры вокруг минералогического состава верхней мантии Земли можно считать разрешенными. Правда, это не обязательно означает, что между переходной зоной и нижней мантией нет никакой химической стратификации и что полномерной «всемантной» конвекции не происходит. Ведь прямым результатом увеличения содержания оливина в верхней мантии должен стать рост выделения скрытой теплоты при переходе от оливина к вадслеиту в погружающихся плитах коры.

Тепловыделение, в свою очередь, должно способствовать физическому отделению плит в районе разрывного нарушения. Последующее «запруживание» отколовшихся холодных плит на глубине 660 км, т.е. в верхних областях нижней мантии, создало бы по крайней мере частичный физический барьер для конвекции, заставляя мантию функционировать в качестве двойной конвективной системы. Тогда примерно раз в 100 млн лет или реже могли бы происходить катастрофические перемешивания между верхней и нижней мантиями.

Nature. 1997. V.385. № 6616. P.490 (Великобритания).

Геология. Океанология

Подводный грязевой вулкан в Арктике

Во время норвежско-американской океанографической экспедиции 1995 г. на судне «Хаакон Мосби» изучалось строение дна Норвежского моря между континентальным побережьем и архипелагом Шпицберген (Сваль-

бард). В результате в районе 72°с.ш., 15°в.д. был открыт неизвестный ранее грязевой вулкан (диаметр около 1 км), вершина которого находится на глубине 1250 м под ур.м. Вулкан был назван по имени судна, участвовавшего в этой экспедиции, — Хаакон Мосби. Детальных исследований тогда не проводилось.

Годом позже в этот район на борту российской судна «Профессор Логачев» прибыла международная экспедиция, снабженная подводными видеокамерами и оборудованием для бурения морского дна¹. Сделанные ею снимки показали, что склоны подводной горы покрыты пятнами белого снегоподобного вещества. Пробурив скважины на склонах вулкана, исследователи подняли на борт колонки осадочных пород, содержавшие небольшие комья, которые, шипя и пенясь, немедленно испарялись. Оказалось, что это газогидраты — твердые соединения газа (в данном случае — метана) с водой, образующиеся при низких температурах и большом давлении. Аномально высокие концентрации метана были обнаружены и в пробах воды, взятых в 100-метровом придонном слое над Хаакон Мосби.

К газогидратам как крупнейшему ресурсу ископаемого углеводородного

¹ EOS, Transactions of the American Geophysical Union. 1997. V.78. № 48. P.549, 556—557; Science News. 1997. V.151. № 234. P.350 (США).

² См.: Баранов Б.В., Гедике К., Великов Е.П. Газовый факел в Охотском море // Природа. 1996. № 9. С.43—47.

³ См.: Лимонов А.Ф., Иванов М.К. Грязевые вулканы, глиняные диапиры: новые геологические открытия в Черном и Средиземном морях // Природа. 1994. № 2. С.63—67.

топлива повышенный интерес проявляют геологи во всем мире². Специалисты полагают, что газогидраты могут образовывать огромные скопления под дном самых разных морей. Но скопления в том виде, как они обнаружены в Норвежском море, — большая редкость.

Вообще говоря, грязевые вулканы известны во многих районах мира³. Но Хаакон Мосби необычен тем, что не связан с какими-либо геологическими структурами, с которыми, как правило, ассоциированы иные грязевые вулканы. По-видимому, он существует за счет процессов, происходящих в осадочном чехле, но детально разобраться в этих механизмах — задача будущих исследований.

Участвовавшие в экспедиции российские биологи обнаружили на Хаакон Мосби богатое сообщество глубоководных организмов, основу которого составляли погонифоры (*Pogonophora*) — живущие в трубках животные, внешне напоминающие очень длинных и тонких червей, но принадлежащие к отдельному зоологическому типу. У этих «червей» нет ротового отверстия и пищеварительного тракта, а питательные вещества они получают от живущих в них симбиотических бактерий, способных окислять метан; за счет окисления (хемосинтетическим, а не фотосинтетическим, способом) они и создают органическое вещество. В обнаруженное сообщество входили и другие беспозвоночные животные, и даже глубоководные придонные рыбы — зоарциды (*Zoarces frigidus*), количество которых достигало на отдельных участках 1 экз./м² дна. Основной пищевой цепи в этом необычайно богатом сообществе, несомненно,

служат все те же метанотрофные бактерии-хемосинтетики.

На 1998 г. планируется новая международная экспедиция в этот район. Она должна базироваться на судне «Академик Мстислав Келдыш» Института океанологии РАН, и для изучения вулкана Хаакон Мосби и его метангидратного покрытия будут применены два российских погружаемых аппарата «Мир».

© Г. М. Виноградов,
кандидат биологических наук
Москва

Океанология

Новая модель раскрытия Курильской котловины

Проблема образования и эволюции задуговых котловин, которые представляют собой малые океанические бассейны, расположенные в тылу островных дуг, — одна из наиболее интересных и сложных в современной геодинамике. По своему строению они сопоставимы с такими крупными бассейнами, как Атлантический океан: кора, подстилающая задуговые котловины, имеет разрез, мощность и состав, характерные для океанических регионов, и образуется в пределах структур, близких по строению к рифтовым зонам срединно-океанических хребтов.

При разработке моделей раскрытия задуговых бассейнов специалисты полагают, что растяжение в тылу островных дуг обусловлено перемещениями литосферных плит относительно зон субдукции. Когда образуются задуговые бассейны, литосферные плиты либо

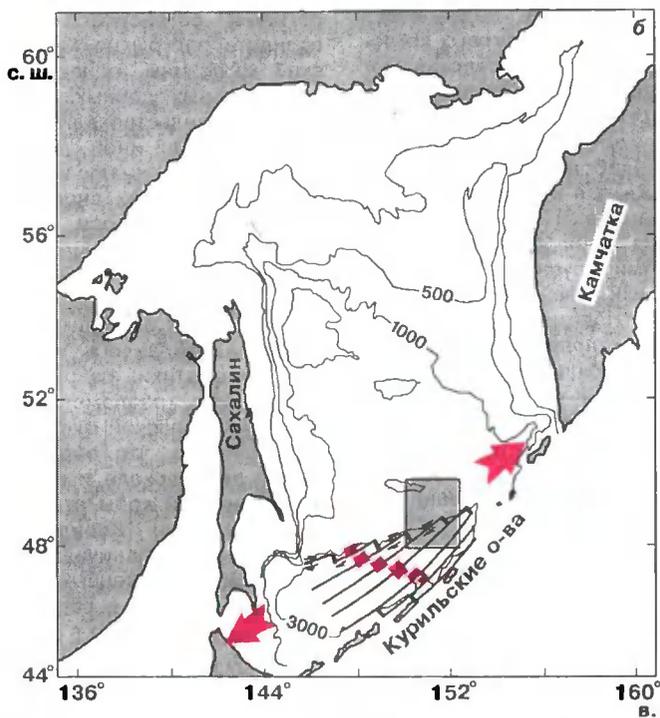
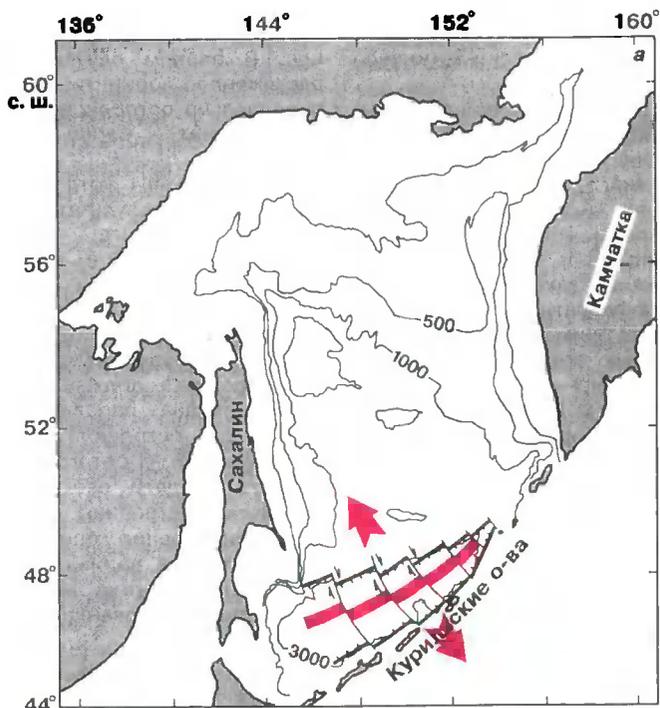
дукции, либо скользят вдоль нее. В первом случае ось растяжения ориентирована параллельно островной дуге, а во втором — перпендикулярно ей.

Курильская котловина, возникшая в результате задугового спрединга — один из ярких примеров такого задугового бассейна. Раскрытие котловины могло произойти двумя способами (см. рис.). В первом случае (а) ось спрединга должна быть ориентирована параллельно Курильской островной дуге, во втором (б) — ортогонально дуге. Модели раскрытия Курильской котловины, существовавшие ранее, брали за основу первый вариант. Авторами предложена модель раскрытия, основанная на втором варианте.

Хотя с общими представлениями о перемещении литосферных плит в этом регионе согласуются оба варианта раскрытия Курильской котловины, однако дополнительные данные, которые свидетельствовали бы в пользу той или иной геометрии раскрытия (наличие линейных магнитных аномалий или проявление оси спрединга в тектонической структуре котловины), не существует.

Ключом к решению этой проблемы оказалось изучение кинематики разрывных нарушений (разломов) на бортах Курильской котловины. Известно, что образующиеся при расколе и растяжении земной коры структуры, подобные Курильской котловине, ограничиваются системой сопряженных разломов — сдвигов и сбросов. Ориентировка сдвигов соответствует направлению растяжения в задуговом бассейне.

Осенью 1996 г. состоялся 27-й рейс научно-исследовательского судна «Академик М.А.Лаврентьев», орга-



в. Д.

Две модели раскрытия Курильской котловины. Вариант «б» предложен авторами (описание в тексте). Цветные стрелки указывают направления раскрытия котловины; прямоугольник — полигон исследований на ее северном борту; линиями с зубцами обозначены сбросы, линиями со стрелками — сдвиги.

низованный Институтом океанологии им. П. П. Ширшова (Москва), Тихоокеанским океанологическим институтом (Владивосток) и Научно-исследовательским центром морской геологии (Киль, Германия). Этот рейс финансировался Министерством науки и техники Германии и Российской академией наук и служил подготовительным этапом «Курило-Охотского морского эксперимента» — «КОМЭКС» (русско-германского проекта, направленного на комплексное изучение Охотского моря). На полигоне, который охватывал восточное окончание возвышенности Академии наук, сопряженный с ним прогиб Макарова, северный склон Курильской котловины и ее ложе, проводились геолого-геофизические исследования, батиметрическая съемка, непрерывное сейсмическое профилирование, измерения магнитного и гравитационного полей. На четырех станциях были подняты драгами коренные породы и консолидированные осадки. Цель всех этих работ — выяснить кинематику и структуру разрывных нарушений на северном склоне Курильской котловины. Судя по результатам предыдущих исследований, ее северный борт имеет зигзагообразный рисунок, о чем свидетельствуют сегменты северо-восточного и северо-западного простираний. Есть все основания полагать, что они соответствуют сопряженным разломам, и поэтому для первого варианта геометрии раскрытия Курильской котловины северо-восточные отрезки представляют собой сбросы, а северо-западные — сдвиги. Для второго варианта кинематика разломов должна быть противоположной.

В ходе проведенного в рейсе исследования выяснилось, что для северного

борта характерны такие структуры, как наклонные блоки, грабены и полуграбены, а значит, формирование котловины происходило в обстановке растяжения. Тектонический рисунок возвышенности Академии наук и склона Курильской котловины определяется двумя системами разломов: сбросами западно-северо-западного или северо-западного направлений и правосторонними сдвигами северо-восточного направления. Таким образом, можно сделать вывод, что Курильская котловина раскрывалась вдоль своего простирания, и, следовательно, данные рейса позволяют сделать выбор в пользу новой модели раскрытия, предложенной авторами.

Известно, что кроме Курильской котловины в пределах Охотского моря существуют другие разновозрастные структуры растяжения, объединяемые в Охотскую рифтовую систему. Преобладающее простирание этих рифтов — северо-западное, соответствующее ориентировке сбросов на бортах Курильской котловины. Это дает основание полагать, что формирование и Курильской котловины, и Охотской рифтовой системы было обусловлено единым механизмом.

© **Б.В.Баранов**,
кандидат геолого-минералогических наук
К.А.Дозорова,
Москва

Сейсмология

Может ли Южная Калифорния вздохнуть с облегчением?

Южная часть штата Калифорния — один из наиболее сейсмичных районов

мира, что при высокой плотности населения и насыщенности промышленными, культурными и сельскохозяйственными объектами грозит тяжелыми человеческими и экономическими потерями. Некоторое снижение потенциальной опасности, кажется, сулит недавно опубликованная гипотеза сейсмологов Л.М.Джонс (L.M.Jones; Калифорнийское отделение Геологической службы США, Пасадена) и Э.Хоукссона (E.Hauksson; Калифорнийский технологический институт, Пасадена). Произведя статистический анализ данных о частоте землетрясений в этом регионе начиная с 1945 г. по настоящее время, они установили, что наступил период снижения сейсмической активности: ныне толчков магнитудой $M=3$ и выше намного меньше, чем 10 лет назад.

Своей целью сейсмологи ставили также проверку гипотезы о цикличности землетрясений с резкой сменой очень высокой активности на очень низкую. Согласно распространенному мнению, отдельный регион после сильного толчка может оставаться спокойным в течение ряда лет, пока в земной коре вновь не накопятся напряжения; с течением времени мелкие и умеренные сейсмические события учащаются, якобы предвеляя мощное землетрясение. Странники такой гипотезы в качестве наиболее характерного примера указывают на область вокруг Сан-Франциско в Калифорнии: после катастрофического землетрясения 1906 г. здесь средней силы толчков не наблюдали в продолжение 40 лет; в конце 60-х годов серия землетрясений средней интенсивности стала нарастать, пока в октябре 1989 г. не произошло катастрофическое событие.

Джонс и Хоукссон считают установленным, что сейсмическая активность в Южной Калифорнии такому распорядку не следует. Хотя число толчков после мощного землетрясения и уменьшается, их частота не нарастает неуклонно вплоть до следующего сильного события — сейсмическая активность в такой период остается на постоянном уровне. Например, вслед за мощным землетрясением 1952 г. в округе Керн, когда магнитуда достигла 7.2, частота толчков упала на 30%, а в 1969 г. она поднялась до прежнего уровня и оставалась такой вплоть до землетрясения 1992 г. в Ландерсе ($M=7.3$).

Многие специалисты полагали, что нарастание активности служит предвестником близящегося сильного землетрясения. Авторы же считают, что после мощной разрядки происходит возврат к нормальным условиям, вовсе не предсказывающий приближение катастрофы. Правда, они не отрицают, что подобный ход событий все же дает некоторый простор для прогноза. Так, очевидно, что после мощного ($M=7.2$) толчка в округе Керн (1952) сильные сотрясения стали редкостью. Если учитывать размеры землетрясения 1992 г. в Ландерсе ($M=7.3$), частота сейсмических событий в Южной Калифорнии должна оставаться на низком уровне вплоть до 2002 г. или даже 2007-го.

Оппонентом Джонс и Хоукссона выступает известный сейсмолог Л.Р.Сайкс (L.R.Sykes; Обсерватория по изучению Земли при Колумбийском университете, Палисейдс, штат Нью-Йорк). Он предостерегает против поспешных выводов, построенных на частном случае. Кроме того, указывает он, Ландерское землетрясение произошло в местности, ле-

жащей далеко к северо-востоку от района повышенной сейсмической активности, — в южной части Калифорнии: трудно представить, как всего один толчок в пустыне Мохаве мог бы «контролировать» число землетрясений на всей территории вокруг Лос-Анджелеса¹.

Geophysical Research Letters. 15 February 1997; Science News. 1997. V.151. № 8. P.116 (США).

Вулканология

Попокатепетль разъярился

30 июня 1997 г. на улицы Мехико-Сити посыпался пепел — началось сильное извержение вулкана Попокатепетль, расположенного всего в 72 км от столицы Мексики. Правда, в последние годы его активность постепенно увеличивалась, но теперь она достигла той рекордной за XX в. степени, которая была отмечена в 1927 г.

Попокатепетль, возвышающийся на 5452 м над ур.м., находится в одном из наиболее плотно заселенных районов мира. На протяжении многих веков редкие извержения, плодородность почвы и мягкий климат привлекали на это высокое плато тысячи поселенцев. Сейчас в зоне, подверженной наибольшей опасности,



Один из первых пепловых выбросов Попокатепетля в июне 1997 г. На заднем плане — более древний вулкан Истачиуатль.

живет более 100 тыс. человек, а в радиусе 80 км — почти 20 млн, которым ныне пришлось испытать пеплопад.

Пробуждение Попокатепетля после почти 70-летней «дремоты» началось в 1993 г. с увеличения числа слабых подземных толчков и выброса газовых струй. В конце 1994 г. активность заметно возросла, и 21 декабря из кратера послышались звуки сильных взрывов. Ветер донес облако пепла до г.Пуэбло, откуда пришлось эвакуировать 75 тыс. человек. Пульсирующие, несколько раз в сутки, по 5—20 мин, выбросы пепла наблюдались весь 1995 г., а в марте 1996 г. обнаружилось, что на дне главного кратера растет новый купол; свежая лава заполнила одну пятую объема кратера. В апреле 1996 г. произошла трагедия: пять человек, пренебрегших предостережением, добрались до кромки кратера, чтобы сфотографировать его состояние, но погибли при

сравнительно небольшом взрыве. В 1997 г. по верхним склонам горы раз за разом скатывались сверкающие комья лавы.

Геологи установили, что ныне существующий вулканический конус не первое свидетельство здешней активности недр: 23 тыс. лет назад гигантской силы извержение полностью разрушило уже стоявший на этом месте вулкан. С тех пор извержений, преимущественно слабых, было множество, но семь из них достигали катастрофических масштабов. Наиболее сильные случались между 3000—2000 г. до н.э. и около 800 г. н.э., что подтверждается археологическими раскопками (под слоями пепла были найдены керамические изделия). Примерно с 800 г. активность Попокатепетля стала в основном умеренной.

Нынешний эпизод похож на события 1919—1927 гг., завершившиеся взрывом, который уничтожил старый кратер и образовал небольшой новый купол. Теперь этот купол уже превзошел по размерам тот, что сформировался к 1927 г.

Nature. 1997. V.388. № 6639. P.227 (Великобритания).

¹ Вопрос о пространственно-временных корреляциях землетрясений был рассмотрен под иным углом зрения в статье: Никонов А.А. Землетрясения в Северном Афганистане: развитие одной гипотезы // Природа. 1998. № 6. С.19—22; Бялко А.В. Нелинейность геодинамики: физическая интерпретация // Там же. С.23—26.

Вулканология

Вулкан Лоихи — с борта подводного судна

На дне Тихого океана, в 35 км к юго-востоку от о.Гавайи (в точке с координатами 19°с.ш., 155°з.д.), несколько лет назад был открыт вулкан, получивший название Лоихи. Его вершина возвышается на 3500 м над окружающим дном, в 980 м от поверхности океана. Это самый молодой из всех вулканов Гавайской гряды. Он расположен на подводном склоне огнедышащей горы Мауна-Лоа, чья нынешняя активность продолжается без перерыва вот уже второе десятилетие.

Еще в июле—августе 1996 г. в районе Лоихи отмечался самый длительный за время сейсмических наблюдений на Гавайских о-вах «рой» землетрясений. Как только они начали затихать, группа специалистов во главе с К.Рубином (К. Rubin; факультет геологии и геофизики Университета штата Гавайи, Маноа, США) совершила здесь погружение на борту подводного научно-исследовательского судна. Было обнаружено, что на месте уже известного скопления расщелин Пеле (Пеле — имя гавайского божества подземных сил) образовался новый кратер, окруженный гидротермальными трещинами.

Подвергнув два образца свежей лавы изотопному анализу (на содержание изотопов свинца с периодом полураспада 138,4 сут), выяснили, что лава имеет различный возраст, но в обоих случаях она на 1—10 недель «старше» отмеченных в 1996 г. подземных толчков. Геохимический и петрологический анализы пород, взя-

тых среди скопления молодых брекчий на склоне Лоихи, показали, что поначалу магма некоторое время скапливалась на глубине около 10 км, но затем, вероятно в результате извержения вулкана, она перемещалась с железо-магнезиальными (Mg—Fe) расплавленными породами.

В районе одной из расщелин были замечены тонкие плечочные отложения сульфидов гидротермального происхождения, а вблизи вершины подводной горы — обильные осадки, состоящие из черных песков. Присутствие обломков вулканического стекла с многочисленными пузырьковыми включениями говорит о том, что минувшее извержение было очень бурным.

Установлено, что трещины и расщелины на глубине 1300—1400 м возникли в ходе обрушения вершинного кратера. Они пересекли низкотемпературное гидротермальное поле, ранее не замеченное учеными. Небольшой объем образовавшегося провала (не более 0,15 км³) указывает, что обрушение вершины горы скорее всего произошло вследствие вторжения магмы в верхнюю часть местного разлома земной коры, но извержения в тот момент здесь не последовало.

С конца 1996 г. по октябрь 1997-го Лоихи вел себя относительно спокойно. При погружениях, предпринятых в августе—сентябре 1997 г., было обнаружено, что из расщелин Пеле выбрасывается сильно разогретая жидкость — до 200°С. Замечены также высокотемпературные гидротермальные отложения, минеральный состав которых сходен с теми, что наблюдаются в вулканических областях срединно-океанических хребтов.

В октябре 1997 г. специ-

алисты приступили к многообещающим исследованиям с помощью нового пилотируемого аппарата «HUGO» («Hawaii Undersea GeoObservatory» — «Гавайская подводная геобсерватория»). При первых же погружениях акустические приборы зарегистрировали характерные шумы. Несмотря на их интенсивность, сейсмической активности они почему-то не сопровождалась. Исследования продолжаются.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1997. V.22. № 9. P.6 (США).

География. Экология

Комплексная карта России

Появление детальной эколого-географической карты Российской Федерации¹ стало возможным благодаря сотрудничеству ряда учебных, научных и производственных учреждений страны: Московского и Санкт-Петербургского университетов, Института географии СО РАН (Иркутск) и Омской картографической фабрики Роскартографии.

В работе участвовали более 40 ученых различных областей географии — ландшафтоведы, почвоведы, геоморфологи, гидрологи, океанологи, климатологи, биогеографы, экономико-географы, картографы. Главная цель, преследовавшаяся при составлении карты, — выявить общие пространственные закономерности антропогенного воздействия на природную среду и ее изменения.

¹ Эколого-географическая карта Российской Федерации (4 листа). М 1:4 000 000 // М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1996.

В целом это произведение было задумано как комплексная карта, отражающая пространственные различия в состоянии и качестве среды обитания человека — географической среды. В основу карты был положен ландшафтный подход. Закономерно, что в качестве исходного материала для классификации среды по условиям жизни населения была принята карта А.Г.Исаченко, опубликованная в 1988 г.

Ландшафты и антропогенное воздействие на них определяют экологическую ситуацию в каждом конкретном случае. Степень проявления воздействий зависит от структуры и динамики ландшафта, его устойчивости. Эффект воздействия выражается в реальных изменениях природной среды. На карте удачно показан экологический потенциал неизменных человеком природных ландшафтов и экологическое состояние элементов природных систем, измененных человеком, а также потенциальная экологическая опасность элементов социально-экономических систем.

В качестве объектов оценки экологического состояния выбраны пахотные почвы, растительность лугов и пастбищ, леса, поверхностные воды, морские акватории, атмосферный воздух в городах, а также центры горнодобывающей промышленности и транспортной сети.

Легенда карты представляет собой систему блоков-таблиц. Первая группа таких блоков характеризует природные ландшафты, сгруппированные по экологическому принципу, и их современные формы использования; оценку экологического состояния почв, природных кормовых угодий, лесов;

в особый блок выделена оценка степени загрязнения поверхностных вод суши (рек и озер) и экологического состояния морских акваторий.

Вторая группа блоков отражает элементы социально-экономических систем. В блоке «Промышленные центры» приводится оценка состояния атмосферного воздуха в городах; в блоке «Центры горнодобывающей промышленности» — оценка экологической опасности добываемого сырья и нарушенности территории горными выработками. Блок «Транспортно-распределительные пункты, пути сообщения» отражает экологическую опасность работы транспорта.

Приведенные на карте и в ее легенде экологические оценки основаны на комплексе количественных и качественных показателей, с учетом различных нормативов. Качественные и количественные показатели дифференцируют экологическую обстановку на катастрофическую, кризисную, напряженную, относительно напряженную и удовлетворительную.

На картах-врезках масштаба 1:16 000 000 показаны объекты потенциальной радиационной опасности и обеднение животного мира.

Карта отчетливо демонстрирует различия в экологическом состоянии конкретных регионов и центров России, дает возможность сравнений, определения районов и мест, особо нуждающихся в срочных мерах по улучшению экологической обстановки. Дополняет карту пояснительная записка, где изложены принципы ее создания и методика разработки. Записка предлагается в качестве руководства для пользования картой, в первую очередь лицами, не

обладающими специальной подготовкой в сфере экологии и картографии.

Будучи источником экологических и дополнительных географических знаний, новая карта может служить стимулятором в решении многоплановых экологических проблем.

© В.А.Снытко,
доктор географических наук
Иркутск

Метеорология

Программа «FASTEX» и прогноз атлантических циклонов

В январе—феврале 1997 г. специалисты 11 стран участвовали в «Эксперименте по изучению траекторий фронтов и циклонов Атлантики» («Fronts and Atlantic Storm Track Experiment» — «FASTEX»). Целью новой программы — повысить качество прогноза разрушительных атлантических циклонов. Как известно, они представляют собой атмосферные возмущения с центрами низкого давления и вихревыми движениями воздуха, которые зарождаются над Северной Атлантикой и периодически обрушиваются на Европу.

Главное внимание было уделено предвестникам циклонов, к которым причислены: характерные структуры поверхностей фронтальных разделов; воздушные ямы в стратосфере; зоны неустойчивости в полосе струйных течений, где скорости ветров максимальны (такие зоны отмечены над западной частью Северной Атлантики) и др. Существование подобных предвестников все более отчетливо проявляется по мере продвижения на восток через Северную Атлантику, а

их различные сочетания указывают на стадии развития циклонов. Специалисты рассматривали методики идентификации предвестников циклона до того момента, как он полностью сформируется. При этом выяснилась необходимость специальных наблюдений в атмосфере, крайне значимых для прогнозов с заблаговременностью в 2—3 сут, т.е. до прихода циклонов в Европу.

В эксперименте использовался большой арсенал метеосредств на огромной акватории океана. Пути движения циклонов отслеживали три турбовинтовых самолета, два из которых были оснащены доплеровскими радарными для регистрации параметров ветра и осадков; с высоты ~3 км при помощи радаров можно точно определить строение зрелого циклона. Выполнялись взаимно пересекающиеся полеты через вихрь для анализа его структуры и фронтальных дождевых полос, создающих основную массу осадков. Возможности быстрого сканирования у доплеровского радара позволили документировать движения турбулентных восходящих и нисходящих потоков воздуха в мелкокапельных ливнях за холодным фронтом циклона. Над Западной и Центральной Атлантикой с двух реактивных самолетов, летящих на высотах до 13 км, сбрасывались на парашютах специальные зонды с аппаратурой, фиксирующей вертикальное распределение различных параметров атмосферы. Один из этих самолетов вел «преследование» мощного циклона. Четыре судна, принадлежащие Франции, Исландии, Украине и США, измеряли на разных широтах тепло- и влагообмен между океаном и атмосферой, периодически запускали радиозонды. Велись наблюде-

ния и с суши: с берегов сбрасывались в океан дрейфующие буи, определялись ветровые потоки и т.д.

Учитывая трудности получения метеоинформации о состоянии атмосферы над океаном, ряд специалистов считает, что сбор данных следует сосредоточить на небольших акваториях — в зонах формирования циклонов и их предвестников. Такой подход более эффективен по сравнению с наблюдениями обширных зон, где не происходит каких-либо значимых метеопроцессов.

Таким образом, в ходе выполнения программы «FASTEX» намечено решить две главные задачи: создать более совершенные технические средства для измерения параметров метеорологических процессов над небольшими, но чувствительными к начальным стадиям зарождения циклонов акваториями; проверить эффективность такого подхода для автоматизации прогнозов.

Существенное отличие географических особенностей Тихого океана от Атлантического не может служить значительным препятствием для использования некоторых результатов программы «FASTEX» и в этом регионе.

Geotimes. 1997. V.42. № 4. P.9 (США).

Палеонтология

Дискуссия о происхождении птиц продолжается

Споры вокруг того, действительно ли птицы произошли от динозавров, продолжают уже более столетия. Недавно немногочисленные противники такой гипотезы получили поддержку благо-

даря проведенному американским физиологом Дж.А.Рубеном (J.A.Ruben; Университет штата Орегон, Корваллис) изучению строения легких у тех и других.

Сопоставление систем дыхания у ныне живущих птиц и крокодилов, с одной стороны, и у ископаемых теропод (небольших прямоходящих хищных динозавров) — с другой, свидетельствует, по мнению ученого, о том, что эти тероподы никак не могли быть прямыми предками пернатых.

Как и у млекопитающих, дыхание у крокодилов происходит при помощи диафрагмы — подвижной перегородки, отделяющей грудную полость от брюшной. У крокодилов мускулы, идущие от лобковой кости к тазу, прикреплены к диафрагме. Это создает поршнеобразную систему, которая оттягивает диафрагму назад. При сокращении мускулов диафрагма, перемещаясь, увеличивает объем грудной полости, затягивая тем самым воздух в легкие.

У птиц же дыхательная система организована иначе — она не зависит от диафрагмы. Тут мускулы, прикрепленные к ребрам, «загоняют» воздух в целую систему воздушных мешочков, расположенных в полости тела, что создает идеальную схему поставки в организм кислорода, необходимого при полете.

Рубен и его коллеги указывают, что лобковые кости ископаемых теропод были весьма сходны с теми, которыми обладают нынешние крокодилы, а это может свидетельствовать о наличии у динозавров диафрагмы, приводимой в движение поршнеобразным механизмом. В пользу такого утверждения говорит изучение дыхательной системы недавно обнаруженных на территории

Китай остатков динозавра¹, названного синозавроптериксом (*Sinosauropteryx*). Сохранившиеся отпечатки мягких тканей в грудной клетке по своей форме, а также по местоположению диафрагмы этого животного совпадают с тем, что наблюдается у крокодилов. Следовательно, считает Рубен, механизм дыхания у динозавров и у крокодилов одинаков. А это значит, что птицы не могли произойти от животных, обладавших диафрагмой, так как две различные дыхательные системы несовместимы.

Однако большинство палеонтологов остаются на прежней точке зрения. Так, Л.М. Уитмер (L.M. Witmer; Университет штата Огайо, США) указывает, что тероподы передвигались на двух ногах и лобковая кость у них была неподвижной. А крокодилы — четвероногие, и эта кость у них при ходьбе смещается. Таким образом, строение лобковых костей у них различное, а наблюдаемые черты сходства еще требуют объяснения. Надо к тому же учитывать, что остатки синозавроптерикса сплющены, и потому интерпретация мягких тканей в полости тела не совсем ясна.

Science. 1997. V.278. № 5341. P.1229, 1267; Science News. 1997. V.152. № 20. P.310 (США).

Археология

«Городское планирование» в древности

Первое подобие «городских цивилизаций» возникло на территории нынешнего южного Ирака более 5 тыс. лет назад. Затем, 2 тыс. лет назад, примитивная урбанизация заметно продвинулась на север. Несмотря на многочисленные раскопки, до сих пор мало известно о том, как были организованы эти ранние городские поселения и как проходила в них жизнь рядового горожанина.

Дело в том, что большинство ближневосточных городов существовали тысячелетиями (некоторые стоят и по сей день), между тем обычаи и нравы в них часто сменялись, оставляя мало свидетельств о былых временах. А нередко раскопки просто невозможны, поскольку на прежнем месте стоит современный город. Наконец, многие археологи предпочитают «охотиться» за дворцами, не уделяя должного внимания простым поселениям.

Иная судьба у насчитывающего более 4 тыс. лет городища Титрис Хоюк, расположенного на юго-востоке Турции. Раскопки здесь начаты под руководством Т.Матни (T. Matney; Уитманский колледж, Уолла-Уолла, штат Вашингтон, США) еще в 1991 г. Но настоящий размах они приобрели лишь теперь, когда археологи стали картировать захороненное городище, используя чувствительный магнитометр, который реагирует на малейшие вариации магнитного поля, вызванные скрытыми в земле предметами.

Исследователям повеэ-

ло, что поселение росло и процветало на протяжении всего лишь 300 лет, после чего быстро угасло, а более поздние события почти не коснулись его археологических следов. К настоящему времени уже раскопано около 50 га, причем потребовалось снять лишь 75 см грунта, чтобы вскрыть слой, отложившийся в 3-м тысячелетии до н.э.

Глазам археологов открылись не только строго возведенные стены Титрис Хоюка, но и однотипные жилища, которые имели по нескольку очагов и служили кровом для больших семей. Необычно то, что поселение явно строилось по заранее разработанному плану: сначала камнем мостили улицы, а уж затем возводили «стандартные» дома. Лишь один из них был больше других и выглядел богаче.

Прямо под полом всех 10 раскопанных домов заложены крипты — каменные склепы, хранящие останки членов семьи. Верхняя часть склепа нередко выступает над уровнем пола в средней части дома. В каждой крипте похоронено от семи до девяти человек. Рядом с усопшими — пища, оружие, все что может понадобиться им в загробной жизни. То, что захоронение совершалось непосредственно под жилым помещением, свидетельствует о стремлении поддерживать тесные духовные связи между живыми и умершими родственниками.

Раскопки городища Титрис Хоюк продолжаются. Но уже сейчас ясно, что они немало расскажут о становлении первых городских поселений.

Science News. 1997. V.151. № 20. P.309 (США).

¹ См.: Курочкин Е.Н. Новые динозавры из Китая и происхождение птиц // Природа. 1998. № 7. С.63.

В подарок энтомологу

А. В. Свиридов,

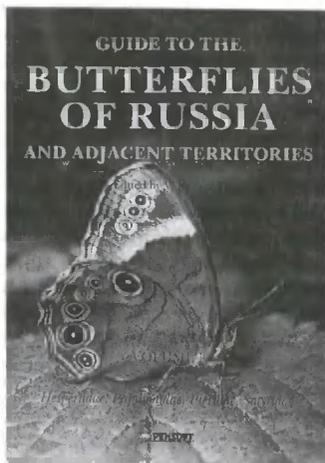
Научно-исследовательский зоологический музей МГУ

МОЖНО ли изучать живую красоту? Конечно! В природе красота присутствует всюду. Бабочки (или чешуекрылые) — один из трех крупнейших отрядов класса насекомых. Ученые насчитывают в нем около 150 тыс. видов, многие из которых еще мало изучены. Зачем природе такая ошеломляющая привлекательность дневных бабочек?

Красочный атлас-справочник обобщает современные знания о многообразии дневных бабочек региона. Несомненно, его подготовка была бы невозможна, если бы не более чем двухвековой труд многочисленных фаунистов и систематиков, круш которых очень велик.

Первый том, вышедший в 1997 г., включает общую часть и очерки по четырем семействам бабочек (толстоголовки, парусники, белянки, сатиры). Готовится к печати и второй том. Над атласом работали не только биологи-профессионалы, но и химики, геологи, физики. Всех их объединяет любовь к коллекционированию бабочек, обширные знания об этих насекомых. Авторы немало путешествовали по территории бывшего СССР, посещая все наиболее интересные в этом отношении уголки, часто труднодоступные.

Такой полной по набору таксонов и охвату территории сводки, если не считать фундаментальной работы профессора А.Зейтца (Германия, начало века) до сих



V.K. Tuzov, A.L. Devyatkin, V.A. Korolev, G.D. Samodurov, P.V. Bogdanov, L.V. Kaabak, V.S. Murzin, E.A. Tarasov.
GUIDE TO THE BUTTERFLIES OF RUSSIA AND ADJACENT TERRITORIES (LEPIDOPTERA, RHOPALOCERA).

V.I. Hesperidae, Papilionidae, Pieridae, Satyridae.
Sofia; Moscow: Pensoft, 1997. 480 p.

V.K. Тузов, А.Л. Девяткин, В.А. Королев, Г.Д. Самодуров, П.В. Богданов, Л.В. Каабак, В.С. Мурзин, Е.А. Тарасов.
АТЛАС-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ДНЕВНЫХ БАБОЧЕК РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (LEPIDOPTERA, RHOPALOCERA).
Т.1. Толстоголовки, парусники, белянки, сатиры. София; М.: Пенсофт, 1997. 480 с.

пор не существовало. Книга Зейтца, однако, сильно устарела, и потому пользоваться ею, как справочником, затруднительно. Атлас-определитель с удовлетворительной полнотой учитывает новые данные, в том числе 50 видов бабочек, описанных только после 1917 г., а также результаты ревизии система-

тических групп. Вспомним, что еще недавно, в некоторых популярных изданиях можно было встретить высказывания малоосведомленных людей, приводивших зоологическую систематику как пример области знания, в которой трудно уже сделать что-либо новое. Сейчас достаточно ясно, что это неверно.

Рецензируемая книга не претендует на окончательное построение системы и классификации дневных бабочек. Учитывая это, мы не будем разбирать те или иные частные таксономические решения. Они в основном удовлетворительны, часто удачны. Заметим, правда, что уровень написания очерков различен. Это связано в основном с тем, что некоторые группы были ревизованы недавно, а другим это еще только предстоит.

По научному жанру рецензируемая книга относится к справочно-диагностическим. Она ориентирована на полный охват фауны, и ее основу составляет превосходный атлас цветных фотографий дневных бабочек. Все виды изображены на 79 таблицах, содержащих до 47 изображений отдельных экземпляров. На фотографиях большей частью представлены экземпляры из частных коллекций московских энтомологов-любителей. Фотографии бабочек на таблицах, репродукции портретов ряда известных лепидоптерологов и общий дизайн книги — результат блистательного творчества фотохудожника, коллекционера бабочек и

путешественника А.В.Сочивко. Издание можно назвать роскошным. Нам оно представляется эстетически безупречным. Фотографии вполне пригодны для выполнения основного назначения атласа — определения принадлежности дневных бабочек к видам и подвидам.

Книга открывается небольшим введением, где дан список принятых сокращений. Раздел «Географическое подразделение» снабжен 52 качественными цветными фотографиями различных ландшафтов нашей родины, населенных бабочками, и тремя картами, демонстрирующими фаунистические регионы России. Завершается вводная часть обзором по истории исследования дневных бабочек страны. Такая компиляция очень удачна, достаточно подробно и является первым успешным опытом такого рода. Ценно и то, что в обзоре рассказывается о некоторых лепидоптерологах, упоминание которых еще недавно было бы невозможным. Так, даже опубликование портрета известного русского ученого, великого князя Николая Михайловича (1859—1919) до недавнего времени было актом особой смелости. В конце очерка приведен групповой портрет ряда московских энтомологов, преимущественно владельцев частных коллекций. Среди них — и некоторые известные исследователи фауны дневных бабочек.

В основной части книги в систематическом порядке изложены основные сведения о видах дневных бабочек. К каждому из семейств прилагается отличный фотоснимок (автор — А.В.Данченко). Очерки, посвященные видам бабочек, имеют следующую структуру. Вместо заглавия — полное латинское название (в скобках — фамилия автора вида, если вид

был затем перенесен в другой род, а также год выхода в свет первоописания). Далее следуют библиографические данные о первоописании и ссылка на изображение в атласе. Затем — цитированное указание на типовую местность (т.е. откуда вид был описан) и современное пояснение к нему. По отдельным рубрикам размещены данные: об общем ареале вида; его подвидах и их распространении; о местах обитания, фенологии; о кормовых растениях для гусениц и их зимовке. В разделе «Сходные виды» приведены данные диагностических различий. Морфологических описаний, ключей для определения и карт распространения книга, как правило, не содержит. Изображения гениталий и других морфологических деталей бабочек даются в особых случаях, когда без них определить вид невозможно. Эти информационные ограничения допустимы, если учитывать предназначение книги. Они встречаются и в аналогичных атласах дневных бабочек Европы и Северной Америки. В справочных изданиях такого типа всегда желательно приводить сведения, в каких учреждениях России и зарубежья хранятся эталонные (типовые) экземпляры видов. Авторы книги пользовались первоописаниями, часто взятыми из редких, рассеянных по библиотекам изданий, а эти сведения, к сожалению, не зафиксированы.

Помимо подписей к иллюстрациям под каждой таблицей даны сведения с этикеток изображенных экземпляров. Завершают том два указателя латинских названий бабочек и растений. Они удобны в использовании. Существенно, что видовые характеристики приведены в алфавитном порядке,

поскольку родовые названия не вполне устоялись. Не во всех книгах встречаешь этот разумный принцип.

Оценивая новую книгу, надо сказать, что это — выдающееся явление в современной энтомологии, причем не только отечественной, но и мировой. Скорее всего в грядущем тысячелетии ее будут использовать и как фундаментальный справочник, и как пособие для определения дневных бабочек огромной территории России.

Главный, можно сказать, недостаток книги — это ее значительная цена, и потому она не всегда доступна желающим. Однако это вполне оправдано не только содержанием, но и великолепным полиграфическим исполнением и оформлением этого ценного издания. Книга написана на английском и может поэтому использоваться большим числом энтомологов.

Давая высокую оценку рецензируемому труду, к сожалению, нельзя не остановиться на досадных ошибках. Мы не ставили своей целью выявить все промахи издания, для этого понадобился бы специальный редакторский труд. Остановимся лишь на фактических ошибках, которые могут ввести в заблуждение при использовании книги в качестве справочника. Так, по меньшей мере нуждается в комментарии подпись к фотографии, из которой следует, что на рис.3 изображена тундра. Однако на снимке хорошо различимы не меньше 70 стволов деревьев. На с.40 утверждается, что исходной «точкой отсчета», с которой начинается систематика в целом и бинарная номенклатура в классификации «всех растений и животных», включая бабочек, является выход в свет десятого

издания «Системы природы» К. Линнея (1758). Это верно, однако, лишь применительно к зоологии. Так, например, для сосудистых растений в качестве «точки отсчета» принято первое издание «Видов растений» (1753). На с. 46 Г. И. Сиверс назван основателем и первым директором Кавказского музея (Тифлис) и автором труда «Коллекции Кавказского музея». В действительности все это относится к его знаменитому другу, также Густаву Ивановичу, но Раdde. Открытие возрожденного музея состоялось в 1867 г., а Г. И. Сиверс приехал на Кавказ только в 1870 г. и никогда не был директором. Впрочем, музей был открыт уже в 1852 г., и в состав его дирекции тогда входили Е. С. Андреевский, В. А. Соллогуб и К. Л. Чермак.

Общепринятый международный индекс Зоологического музея МГУ ZMUM, а не ZMMSU (как повсюду в книге), официальное название Московского общества испытателей природы на английском языке — Moscow Society of Naturalists, а не Moscow Society of Natural History (с. 51). На с. 157 описан таксон *Euchloe (ausonia) naina Kozh* и дана ссылка на табл. 27 (рис. 10—12). Из подписи к рисунку следует, однако, что изображен *Euchloe (ausonia) jacutia* Bock. Какое название авторы считают верным, догадаться, к сожалению, трудно. На с. 53 указано, что в Зоологическом музее МГУ хранится большая коллекция бабочек известного энтомолога В. И. Мочульского (1820—1871). На самом деле в музее хранятся многие насекомые из коллекции В. И. Мочульского, но не бабочки. Их надо искать в других музеях. Если бы бабочки Мочульского хранились в зоомузее, сюда бы зачастили многие энтомологи России и зарубежья, поскольку в коллекции имелось

много важных для систематики типовых экземпляров.

Для рецензируемой книги характерен в целом корректный подход к латинской номенклатуре бабочек. Очень существенно, что строго выполнено требование номенклатурного Кодекса о заключении в скобки в необходимых случаях фамилий авторов таксонов. Ранее каталоги бабочек СССР этого не учитывали, поэтому ими практически нельзя было пользоваться в полной мере. В связи с Международным кодексом зоологической номенклатуры заметим, что неукоснительное (до деталей) следование ему всегда считалось делом чести для систематиков и фаунистов. Рецензируемая книга для территории бывшего СССР является ныне, конечно, лучшим источником номенклатуры дневных бабочек. Есть в ней, однако, и досадные упущения. Так, в историческом очерке после первоначального родового названия в скобках стоит современное. В рекомендации 6А Кодекса указано, что здесь следует размещать только подродовое название. Эта рекомендация всегда учитывалась систематиками на практике. Кодекс довольно строго требует соответствия названия каждого таксона авторскому, данному при первоописании, при этом оговаривая исключения из правил. Однако авторы книги иной раз без достаточных оснований исправляют названия. Например, правильными являются *Colias viluensis* вместо *Colias viluensis*, *Parnassius stubbendorffii* вместо *Parnassius stubbendorffii*, *Ninguta schrenkii* вместо *Ninguta schrenkii*. Иногда эти ошибки связаны с тем, что за первописание принимается повторное, сделанное тем же автором.

В работе встречаются и

неправильные написания фамилий лепидоптерологов. Например, фамилия известного австрийского энтомолога XVIII в., который был также поэтом-бардом, И. М. К. Н. Дениса (*Denis*) (1729—1800) транскрибируется в книге через два «п», т. е. неверно. Интересно, что он подписывал свои художественные произведения псевдонимом Бард Синед (*Barde Sined*) — анаграммой фамилии, причем писал псевдоним также через одно «п».

Есть и еще одна сторона, связанная с процедурой зоологического описания таксонов, в отношении которой необходимо сделать замечание авторам в общем превосходной книги. В ней описаны четыре новых вида дневных бабочек. Само по себе это — отличное достижение. Однако по правилам полагается, чтобы основной эталонный экземпляр (голотип) нового вида или подвида был доступен для исследования. На практике это ведет к тому, что такие экземпляры хранятся в ограниченном количестве в основных, как правило государственных, музеях и других зоологических хранилищах мира. Из голотипов 26 новых видов дневных бабочек, которые описаны ответственными исследователями после 1917 г. с территории бывшего СССР, признаны ныне и вошли в первый том книги, 20 экз. хранятся в пяти главных хранилищах (ЗИНе РАН в С.-Петербурге, Зоомузее МГУ, а также в Киеве, Новосибирске и Владивостоке). Из всех отечественных авторов, описывавших эти виды, только двое поместили свои экземпляры (их четыре) в личных коллекциях и указали их как места хранения голотипов. Если это — недоразумение, то ошибку легко исправить во втором томе рецензируемого

издания. Кстати, многие известные коллекционеры-энтомологи передавали голотипы и другой типовой материал в главные зоологические коллекции страны. Среди них — А.В.Цветаев, профессор В.С.Мурзин, Г.Д.Самодуров. Их типовой материал имеется в Зоологическом музее МГУ. Иная практика приме-

няется при хранении в частной собственности метрологических эталонов — она способна осложнить работу отечественных и зарубежных исследователей.

Сделанные замечания весьма существенны. Однако они никак не уменьшают того значения, которым по масштабности решенной задачи,

вложенным знаниям, опыту авторов и художественным данным обладает рецензируемый труд. Книга говорит сама за себя и не нуждается в рекламе. Она доставит удовольствие многим интересующимся и принесет пользу энтомологам в их повседневной работе.

НОВЫЕ КНИГИ

Планетология

ОКОЛОЗЕМНАЯ АСТРОНОМИЯ. КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР / Под ред. А.Г.Масевич. М.: Космосинформ, 1998. 278 с.

Предлагаемая книга — уже третий сборник, посвященный проблеме «космического мусора». Интерес к этой теме растет не только в связи с опасностью падений на Землю астероидов и крупных метеороидов, но также и столкновений орбитальных аппаратов с космическим мусором.

Во вводной статье дан подробный обзор современных проблем околоземной астрономии. Первый раздел книги посвящен дезинтеграции искусственных небесных тел на низких и высоких орбитах, каталогизации и выявлению опасных сближений, моделированию эволюции фрагментов после распада и особенностям их наблюдений. Во втором — рассмотрены методы и результаты наблюдений новых малых тел солнечной системы, крупных тел в метеорных потоках, дана оценка вероятности опасных сближений с Землей и способом их предотвращения, разработан проект использования астероидов для нужд землян в будущем.

Подробно описана деятельность Российского центра контроля космического пространства, приведены результаты первых оптических наблюдений тел в метеорных потоках, обсуждаются принципы моделирования космического мусора и многое другое.

Ботаника

М.А.Бескаравайная. КЛЕМАТИСЫ — ЛИАНЫ БУДУЩЕГО. Воронеж: Кварта, 1998. 176 с.

Клематис (*Clematis*) — самостоятельный род в семействе лютиковых — насчитывает в мировой флоре около 400 видов. Распространен он на всех континентах, кроме Антарктиды, т.е. в умеренном, субтропическом и тропическом поясах. Поразительно богатство форм: среди клематисов есть кустарниковые лианы с опадающими листьями, вечнозеленые и даже травянистые. Клематисы заслуженно называют «королями» выющихся растений. Длина лиан нередко достигает 10 м, а кустарники поднимаются над землей на 30—60 см.

Предлагаемая книга содержит полные сведения по распространению клемати-

сов, истории этой культуры. Автор дает подробное описание около 100 видов, сортов и форм клематиса отечественной и зарубежной селекции. Впервые предложены научно обоснованные рекомендации по выведению сортов, использованию экспериментального мутагенеза. Приводятся подробная агротехника выращивания этих растений в различных почвенно-климатических зонах России, тонкости их семенного и вегетативного размножения, а также фенологический календарь, морфологическое описание сортов, определение их устойчивости к неблагоприятным факторам среды обитания.

Генетика

К.Б.Соколова. РАЗВИТИЕ ФЕНОГЕНЕТИКИ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XX века. М.: Наука, 1998. 160 с.

Книга написана Ксенией Борисовной Соколовой (1946—1996), талантливым генетиком, ученицей известных ученых М.Д.Голубовского и Р.Л.Берг. Это первое исследование по истории феногенетики в отечественной и зарубежной историко-биологической литературе.

Феногенетика как наука

возникла на стыке генетики, эмбриологии и эволюционного учения. Автору удалось проследить все сложные перипетии развития фенотипа от момента ее зарождения до выхода на современный уровень — теперь ее называют генетикой развития. В книге отражены достижения различных школ, сложившихся в этой области за последние 90 лет, и, что особенно ценно, рассмотрены работы российских ученых П.Г.Светлова, А.Г.Гурвича, М.М.Завадовского, внесших ощутимый вклад в разработку учения о действии генов в онтогенезе. Научная деятельность этих биологов показана на фоне драматических событий, связанных с монополией Лысенко.

Кроме всего прочего, в книге дана оценка работ зарубежных ученых, таких как Р.Гольшмидт, В.Геккер, Д.Бидл, Б.Эфрусси, Э.Тейтум.

География

ГЕОГРАФИЯ РОССИИ. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ / Под ред. А.П.Горкина. М.: Большая российская энциклопедия, 1998. 800 с.

Вышло первое энциклопедическое издание, посвященное географии Российской Федерации. Это справочное издание содержит около 5000 статей, свыше 1000 иллюстраций и около 100 карт. Читатель найдет в словаре статьи обо всех субъектах России, городах и районных центрах, а также подробную информацию о морях, реках, озерах, остро-

вах, горах, равнинах, ледниках, пещерах, месторождениях полезных ископаемых. Указаны историко-географические объекты, архитектурные и исторические памятники, охраняемые природные территории России (заповедники, национальные парки). Приводятся сведения о негативных последствиях антропогенного воздействия на природу. Для удобства пользования словарь снабжен тремя указателями: алфавитным, тематическим, именным.

История науки

АКАДЕМИК АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ БАЕВ: ОЧЕРКИ. ПЕРЕПИСКА. ВОСПОМИНАНИЯ. М.: Наука, 1997. 520 с. (Ученые России: Очерки, воспоминания, материалы).

С именем академика А.А.Баева (1904—1994) связаны выдающиеся достижения в области молекулярной биологии. Он был организатором исследований по генной инженерии, биотехнологии и геному человека.

Книга состоит из трех разделов. Первый открывается автобиографией Баева, написанной им в последний год жизни для журнала «Elseviers Comprehensive Biochemistry». Эта публикация не только дает представление о личности автора, но и является попыткой философского осмысления жизни. Во втором разделе опубликована переписка В.А.Энгельгардта с Баевым и его женой Е.В.Косякиной-Баевой в период пребывания ученого в ссылках. Третий раздел книги завершают воспоми-

ния жены и сына Баева, его коллег и знакомых, зарубежных ученых.

Собранные материалы дают представление о яркой и драматической судьбе Александра Александровича, о его таланте ученого и вкладе в развитие современных направлений биологии. Большая часть материалов этой книги публикуется впервые.

Л.В.Алексеев, Е.В.Колесник. ИВАН НИКОЛАЕВИЧ ГОРОЖАНКИН. 1848—1904. М.: Наука, 1998. 208 с. (Научно-биографическая литература).

Иван Николаевич Горожанкин — крупнейший русский ботаник-морфолог растений, ученик Н.Н.Кауфмана. Он был профессором Московского университета, директором Ботанического сада.

В историю науки Горожанкин вошел благодаря результатам наблюдений над оплодотворением зеленых водорослей и исследованиям развития хламидомонад. Он автор учебника по архегониальным растениям (мохообразным, папоротникообразным, голосеменным) и создатель крупнейшей в России ботанической школы, получившей название Горожанкинской.

В книге проанализированы его научные труды по водорослям и голосеменным растениям, признанные в мировой науке классическими. Впервые опубликованы научные отчеты Горожанкина о зарубежных командировках и письма, написанные во время стажировок и после посещения зарубежных университетов.

Навигацкая школа в Сухаревой башне

А. И. Еремеева,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
Москва

ПЕТР I И ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Начало специального астрономического образования в России приходится на конец XVII в., эпоху Петра I, и связано с Москвой.

Посетив в 1697—1698 гг. Голландию и Англию с целью изучения кораблестроения, молодой русский царь побывал в Гринвичской обсерватории, где наблюдал за звездами у королевского астронома Дж. Флемстида, познакомился с английским астрономом и геофизиком Э. Галлеем и профессорами математики и астрономии Оксфордского университета. Петр I приглашал Галлея в Москву для обучения мореходной астрономии русских «студентов». Галлей поехать не мог, но порекомендовал шотландца, профессора Абердинского университета, знающего математику и астрономию Эндрю Фарварсона. Петр I пригласил его в Москву для создания школы мореходных наук.

В Голландии, помимо освоения корабельного мастерства, Петр организовал перевод и издание на русском языке пособий по математике и астрономии. Уже в 1699 г. в Амстердаме отпечатали первую звездную карту. Характерно, что она была снабжена накладными координатными сетками и наставлениями и могла быть использована для решения практических задач, в том числе навигации по звездам.

ОСНОВАНИЕ НАВИГАЦКОЙ ШКОЛЫ

Важным событием в истории культурной жизни России на рубеже XVII—XVIII вв. стало основание Петром I «Школы Математических и Навигацких наук» с курсом прикладной геодезической и морской астрономии. В изданном им Указе от 14 января 1701 г. говорилось: «...быть Математических и Навигацких, то есть мореходных хитростно наук учению». Сначала она размещалась в Замоскворечье, в мало приспособленных помещениях, но уже летом 1701 г. переехала в более подходящее здание — знаменитую Сухареву башню.

В создании школы активно участвовал сподвижник Петра, видный ученый, астроном Я. В. Брюс. Большую инициативу при ее организации проявил образованный дьяк Оружейной палаты (бывший крепостной) А. Курбатов. В начале февраля 1701 г. он предложил в преподаватели уже заявившего о себе талантливого педагога и математика Л. Ф. Магницкого.

Сухарева башня — одно из четырех «чудес» старой Москвы. Существует версия, что она названа так в честь полковника Лаврентия Сухарева, предупредившего молодого царя о смертельной опасности во время стрелецкого бунта 1689 г. Башня строилась в 1692—1701 гг. — сначала как Сретенские ворота на северо-восточной границе Москвы (отсюда шла дорога в Троице-

Сергиеву лавру). В последующие два года к ней были сделаны новые пристройки. Уже в архитектуре Сухаревой башни отразились мечты Петра о превращении России в морскую державу: здание по форме напоминало флагманский корабль той эпохи, в третьем ярусе разместились классы Навигацкой школы. Сама башня была особенно удобна для астрономических занятий. Как писали «Московские губернские ведомости» в 1855 г., Сухарева башня высотой 35 саженей 1 аршин, т. е. более 60 м, лишь немногим уступала «Ивану Великому». Она создана по проекту известного русского архитектора и живописца М. И. Чоглокова.

Архитекторы уже нашего времени отмечали особую красоту сооружения — сочетание строгости с изумительными деталями в стиле барокко (витыми колоннами, наличниками, капителями).

ПЕРВЫЙ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОССИИ

В первый период своего существования (1701—1715) Навигацкая школа была единственным в стране центром широкого физико-математического и технического образования. Обучение в ней делилось на три класса-ступени: Русская школа (обучение грамоте), Цифирная (элементарная математика) и Высшие классы (геометрия, плоская и сферическая тригонометрия, навигация, мореходная астрономия и математическая география).

В школу набирали по 200 человек в возрасте от 13

¹ Галанин Д. Д. Леонтий Филиппович Магницкий и его арифметика. М., 1914. С. 38.

Сухарева башня. Начало XVIII в.

до 20 лет. Поначалу принимали не только «добровольно хотящих» (всех сословий, кроме крепостных), но, как говорилось в царском указе, «иных же паче и со принуждением». Всего с 1701 по 1716 гг. в ней обучалось 1200 человек. Четкого срока окончания курса не было, выпускали по мере надобности, пополняя низший и высший офицерский составы формировавшегося русского флота. Здесь же готовились и артиллеристы, инженеры, геодезисты, архитекторы, даже гражданские чиновники, а из низших классов — писари, мастера.

Образование в России тогда было редкостью, простое население Москвы первое время воспринимало Сухареву башню как место колдовских деяний: ведь оттуда поднимался временами дым (из химической лаборатории жившего в той же башне Брюса). Таинственность башне придавало и то, что там собирались во времена Петра члены загадочного Общества Нептуна под руководством Лефорта, друга и сподвижника царя, читали научные труды, занимались физическими опытами.

В обсерватории, занимавшей верхний ярус башни, размещались частью закупленные еще в конце 90-х годов в Англии Брюсом квадранты и секстанты — для определения широты, ноктурналы — для определения времени ночью по расположению звезд Большой и Малой Медведиц, телескопы («зрительные трубы»), глобусы, в том числе большой звездный глобус. С 1702 г. здесь стали проводить астрономические наблюдения.

Практичный и дальновидный Петр I, задумавший сделать Россию не только



по-европейски культурной страной, но и морской державой, поставил две главные цели перед русскими астрономами. Во-первых, широко распространять знания для борьбы с суевериями (в частности от учителей требовалось умение предвычислять затмения; сам Петр наблюдал такое затмение в 1709 г.). Во-вторых, развивать прикладную астрономию для проведения астрономо-геодезической съемки и картографирования огромной страны, а также создавать кадры грамотных морских офицеров.

ВЫПУСКНИКИ
НАВИГАЦКОЙ
ШКОЛЫ

Окончившие Навигацкую

школу служили на Неве, на Балтийском море, в Кронштадте. Из лучших учеников набирались учителя для низших классов, в том числе для обучения матросов. Число учащихся в Навигацкой школе со 180 в 1703 г. уже к 1706 г. выросло до 500 человек.

После разделения школы на две части астрономо-геодезические старшие классы перешли в Морскую академию в Санкт-Петербург. Но и в Москве занятия астрономией на прекратились. Так, у Магницкого в 1719—1722 гг. обучался будущий известный русский астроном и помощник Ломоносова А.Д. Красильников, в последующие

годы — его два родных брата, ставшие геодезистами. Здесь же в 1738—1741 г. начальное образование получил Н.Г.Курганов, впоследствии — выдающийся русский астроном.

Из Навигацкой школы вышли будущие российские геодезисты, картографы, астрономы, путешественники. И.К.Кирилов (выпускник 1708 г., составитель первого географического Атласа Российской империи). Участники Великой северной экспедиции (1733—1743) С.Г.Малыгин, Д.Л.Овцын и С.И.Челюскин, которые провели съемку побережья Ледовитого океана. А.И.Чириков, помощник В.Беринга, исследовал северо-западную часть побережья Северной Америки. Имя Чирикова носят остров в заливе Аляска и мыс на о.Атту в Тихом океане, а имя Челюскина — крайняя северная точка Евразии. В той же экспедиции участвовал также астроном Красильников, адъютант Петербургской академии наук. Он впервые вычислил протяженность территории России от восточных берегов Камчатки до о.Даго. Выпускником школы был выдающийся гидрограф и картограф Ф.И.Соймонов, кото-

рый провел первые съемки Каспийского моря, организовал исследование Чукотки. В 1765 г., Соймонов издал в Москве одну из первых русских книг по астрономии.

В 1752 г. Навигацкая школа в Москве, выполнявшая после 1715 г. роль подготовительного училища при Морской академии, была закрыта в связи с организацией в Петербурге Морского шляхетного кадетского корпуса. Но это было уже узко сословное заведение.

Следы влияния московской Навигацкой школы сохранились и в Петербурге. В архитектуре его первых академических зданий — в общей форме библиотеки и кунсткамеры с башней-обсерваторией — можно видеть некоторое сходство с... Сухарева башней.

Уничтожение в 30-е годы нашего столетия Сухарева башни — памятника архитектуры, науки и культуры Петровской эпохи — было одним из вопиющих актов большевистского вандализма. Деятели русской культуры приложили тогда немало усилий для сохранения уникального сооружения (среди них — известный живописец,

историк Москвы А.М.Васнецов), а иные даже поплатились свободой (например, писатель Р.А.Штильмарк).

В середине 80-х годов XX в., в преддверии грядущей «перестройки» в нашей стране, впервые появилась идея восстановления двух наиболее знаменитых из разрушенных московских памятников — Сухарева башни и храма Христа-Спасителя. Тогда это казалось фантастикой, сегодня становится явью. Символ веры — храм — практически восстановлен. Очень хочется верить, что и символ российской науки и ее военной славы, первое физико-математическое высшее учебное заведение — петровская Навигацкая школа в Москве не оставит равнодушными сегодняшних руководителей города. Проект ее восстановления, составленный крупнейшими архитекторами с использованием фотоматериалов, хранится в музее им.Щулева. Хочется надеяться, что когда-нибудь и это «чудо» старой Москвы станет реальностью. Принятие такого решения было бы весьма своевременным в связи с 300-летием зарождения самой школы и закладки Петром I российского флота.

Над номером работали
Ответственный секретарь
Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы
И.М.АНДРЕЕВА
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
Л.А.ПАРШИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Компьютерный набор
Е.Е.ЖУКОВА

Перевод
П.А.ХОМЯКОВ

Корректоры
В. А. ЕРМОЛАЕВА
Л.М. ФЕДОРОВА

В художественном оформлении
номера принимал участие
М.В.ИВАНОВСКИЙ

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-23-33
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 18.08.98
Бумага типографская № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Заказ 4025
Тир. 1930.

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

70⁹⁸



Полвека прошло со времени Ашхабадской катастрофы, 9—10-балльного землетрясения, поразившего столицу Туркмении и множество окрестных селений. Правда о последствиях катастрофы долгое время умалчивалась. Некоторые важнейшие научные материалы оставались в архивах и фондах, так что исследователи не имели возможности их использовать, а часто и вовсе о них не знали.

Никонов А. А. АШХАБАДСКАЯ КАТАСТРОФА: ИЗВЕСТНАЯ И НЕИЗВЕСТНАЯ.

