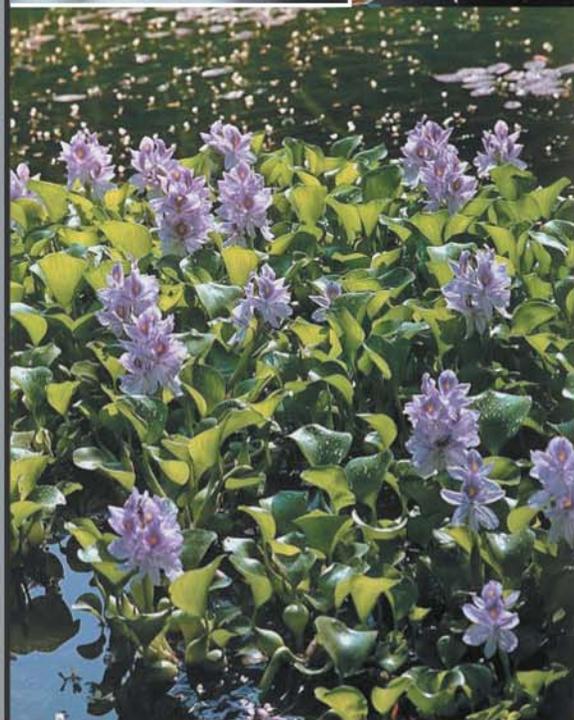
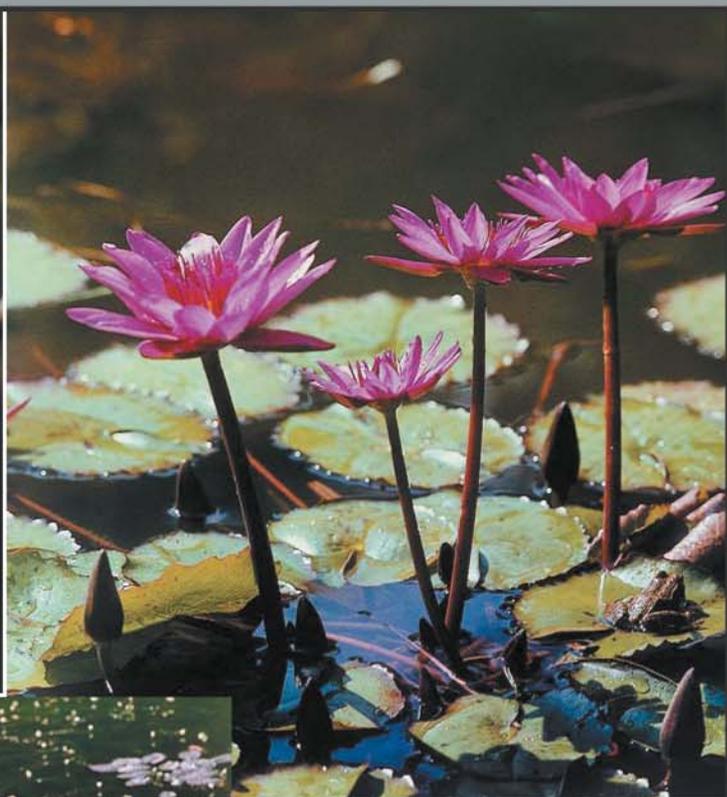


ПРИРОДА

9 06



В НОМЕРЕ:**3 Киселев Л.Л.****Третий генетический код**

Известно, что в остановке белкового синтеза участвуют три нуклеотидные последовательности (три стоп-кодона) и специфические белки, узнающие их. Расшифровка этого специфического декодирования — одна из важнейших задач молекулярной биологии.

10 Шейман И.М., Сахарова Н.Ю.**История из жизни замечательных червей**

В 1950-х годах результаты опытов Мак-Коннелла вызвали сенсацию: при регенерации обученных и разрезанных пополам планарий, при кормлении ими голодных червей передавался результат обучения. Пуцинские ученые нашли объяснение этому феномену. Сейчас на планариях изучают только основы морфогенеза, но не механизмов памяти.

17 Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.**Портрет Земли из космоса
Глобальное радиотепловое поле**

Чтобы строить климатические модели, нужны данные о процессах тепло-, влаго- и массообмена в геосферах. Долговременный мониторинг Земли ведется с искусственных спутников. Какую информацию удастся получать таким образом?

28 Бебия С.М.**Сад в Стране души**

Царство экзотических растений, собранных в Сухумском ботаническом саду (одном из старейших ботанических учреждений Европы) несколькими поколениями ученых, не оставит равнодушным не только обычного посетителя, но и самого искушенного ботаника.

39 Воробьев Е.И.**Стронций-бариевые карбонаты на Мурунском массиве****43 Калейдоскоп**

Северо-Западному проходу 100 лет. Виноградов В.Н. (43). Биологический вид открыт на рынке (44). Новый рекордсмен — забытый старый вид (44).

45 Талалай П.Г.**Проникновение в подледниковые озера: планы и реальность**

Международное сообщество согласилось на новый российский проект проникновения в воды антарктического оз. Восток. при бурении ледяной толщи используется промывочная жидкость, безопасная для организмов, возможно обитающих в реликтовом водоеме.

Научные сообщения**54 Сурдин В.Г.****Экспедиция за веществом кометы****Вести из экспедиций****57 Пинегина Т.К., Константинова Т.Г.****Землетрясение в Корьякии**

Потемкина Т.Г.

Пляжи озера Байкал (62)

Наследие**67 Шокальский Ю.М.****Землетрясение 12 сентября 1927 года. Судак**

Публикация А.А.Никонова

71 Виноградова Р.П.**Научный путь В.А.Белицера
К 100-летию со дня рождения****79 Новости науки**

Еще один гамма-всплеск совпал со сверхновой. Вибе Д.З. (79). Уран окружен синим кольцом (80). Сверхпроводящий графит (80). Квантовая криптография (81). Рост инвентария в нанотехнологии (81). Кремниевые наноизлучатели — гонка продолжается (81). Географический партеногенез у островных насекомых. Викторов А.Г. (82). Мочевина как криопротектор у лягушки (83). Тяжелые металлы в донной фауне океанов (83). Приливы и другие длинные волны. Померанец К.С. (84). Взвешенное вещество в поверхностных водах Атлантики (84). Заселение острова Пасхи (85).
Коротко (9)

Рецензии**86 Бирюков А.В.****Что происходит с населением России****89 Новые книги****В конце номера****91 Вахрушев В.А.****Валун-камень**

CONTENTS:

3 **Kisselev L.L.**

Third Genetic Code

Stopping of protein synthesis is known to involve three nucleotide sequences (three stop-codons) and specific proteins that recognize them. Deciphering of this specific decoding is one of the most important problems of molecular biology.

10 **Scheiman I.M., Sakharova N.Yu.**

A Story from Life of Remarkable Worms

In 1950th the results of MacConnell experiments created a sensation: after regeneration of trained and cut by halves planaria the effect of training was transmitted to hungry planaria feeded by trained ones. A group of researchers from Pushchino find explanation to this phenomenon. Now only fundamentals of morphogenesis are studied on planaria, but not mechanisms of memory.

17 **Astafyeva N.M., Raev M.D., Sharkov E.A.**

Portrait of the Earth from Space Global Radiobrightness Temperature Field

Data on processes of heat, humidity and mass transfer in geospheres are needed to build climate models. Long-term monitoring of Earth is performed by satellites. What kind of information we obtain by this method?

28 **Bebia S.M.**

A Garden in the Land of Soul

The realm of exotic plants, gathered in Sukhum Botanic Garden (one of the oldest botanic institutions of Europe) by several generation of scientists, will impress not only layman visitor but the most experienced botanist.

39 **Vorob'ev E.I.**

Strontium-barium Carbonatites at Murunsky Massif

43 **Kaleidoscope**

Centenary of Northwest Passage. **Vinogradov V.N.** (43). A New Biological Species Found at a Marketplace (44). New Champion — a Forgotten Old Species (44).

45 **Talalai P.G.**

Penetration into Subglacial Lakes: Plans and Reality

International community has approved a new Russian project of drilling into waters of Antarctic Vostok lake. Boring of ice sheet will be performed using drilling fluid safe for organisms possibly inhabiting this relict reservoir.

Scientific communications

54 **Surdin V.G.**

Expedition to Obtain Comet Matter

News from Expeditions

57 **Pinegina T.K., Konstantinova T.G.**

Earthquake in Koryak Region

Potemkina T.G.

Baikal Beaches (62)

Heritage

67 **Schokalsky Yu.M.**

Earthquake 12 September 1927. Sudak

Published by A.A.Nikonov

71 **Vinogradova R.P.**

Scientific Pilgrimage of V.P.Belitser To Centenary of Scientist

79 **Scientific News**

One More Gamma-burst Coincided with a Supernova. **Wiebe D.Z.** (79). Uran Is Circled by Blue Ring (80). Superconductive Graphite (80). Quantum Cryptography (81). Growth of Investments in Nanotechnology (81). Silicon Nano-emitters: Race is Ongoing (81). Geographic Parthenogenesis in Island Insects. **Viktorov A.G.** (82). Urea as Cryoprotector in Frogs (83). Heavy Metals in Benthic Ocean Fauna (83). Tides and Other Long Waves. **Pomeranets K.S.** (84). Suspended Matter in Surface Atlantic Waters (84). Easter Island Colonization (85). In Brief (9)

Book Reviews

86 **Biryukov A.V.**

What Is Going on with Russian Population

89 **New Books**

In the end of Issue

91 **Vakhrushev V.A.**

A Boulder Stone

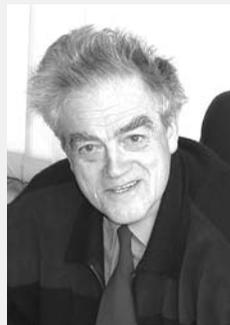
Третий генетический код

Л.Л.Киселев

Первый генетический код

Уже давно понятие о генетическом коде вошло не только в вузовские, но и в школьные учебники биологии. По оценке одних ученых, расшифровка генетического кода — самое выдающееся достижение биологии XX в. Другие считают, что раскрытие двуспиральной структуры ДНК стоит еще выше в иерархии великих биологических открытий ушедшего века. Не будем спорить, кто из них прав. Всем ясно, что в основе современной молекулярной биологии, генетики, теории эволюции лежит именно генетический код, записанный во всех организмах (кроме РНКовых вирусов) в двуспиральной ДНК. В законченном виде (табл.1) его обнаружил в 1966 г. Ф.Крик на Cold Spring Harbor симпозиуме (США), специально посвященном генетическому коду.

Суть и смысл первого и главного генетического кода состоит в однозначном соответствии между нуклеотидной последовательностью кодирующей цепи ДНК и комплементарной ей цепи мРНК аминокислотной последовательности белка, которую кодирует данный ген и его мРНК. Это соотношение 3:1, т.е.



Лев Львович Киселев, академик РАН и Европейской академии (Academia Europaea), заведующий лабораторией Института молекулярной биологии им.В.А.Энгельгардта РАН, главный редактор журнала «Молекулярная биология», редактор журналов «GFEB Letters» и «Biocchimie». Больше 30 лет автор «Природы».

В августе Льву Львовичу исполнилось 70 лет, редакция поздравляет юбиляра и желает здоровья, творческих успехов, благополучия и новых публикаций в нашем журнале.

трем нуклеотидам в цепи ДНК/мРНК соответствует одна аминокислота в полипептидной цепи белка. Поскольку разных нуклеотидов в цепи ДНК четыре и из них можно составить 64 разных тринуклеотида, а природных аминокислот 20 (сейчас известны еще две природных аминокислоты, селеноцистеин и пирролизин), то очевидно, что на долю одной аминокислоты приходится больше одного нуклеотидного триплета. Я не буду здесь касаться долгой и славной истории постепенной расшифровки кода, но напомним, что первый кодон (UUU для аминокислоты фенилаланина) М.Ниренберг, будущий лауреат Нобелевской премии, публично огласил в 1961 г. на меж-

дународном биохимическом конгрессе в Москве в своем внепрограммном сообщении. Это событие произошло в Актовом зале Московского государственного университета на Воробьевых горах, где следовало бы установить мемориальную доску в память об этом историческом событии.

Первое время казалось, что согласно законам природы, код должен быть универсальным, т.е. все живущие на Земле организмы должны следовать только ему. Но, к нескрываемому удивлению исследователей, постепенно стало выясняться, что это не совсем так. Конечно, подавляющее большинство живых существ использует именно универсальный генетический код

Таблица 1

Универсальный генетический код

UUU Phe	UCU Ser	UAU Tyr	UGU Cys
UUC Phe	UCC Ser	UAC Tyr	UGC Cys
UUA Leu	UCA Ser	UAA*	UGA*
UUG Leu	UCG Ser	UAG*	UGG Trp
CUU Leu	CCU Pro	CAU His	CGU Arg
CUC Leu	CCC Pro	CAC His	CGC Arg
CUA Leu	CCA Pro	CAA Gln	CGA Arg
CUG Leu	CCG Pro	CAG Gln	CGG Arg
AUU Ile	ACU Thr	AAU Asn	AGU Ser
AUC Ile	ACC Thr	AAC Asn	AGC Ser
AUA Ile	ACA Thr	AAA Lys	AGA Arg
AUG Met	ACG Thr	AAG Lys	AGG Arg
GUU Val	GCU Ala	GAU Asp	GGU Gly
GUC Val	GCC Ala	GAC Asp	GGC Gly
GUA Val	GCA Ala	GAA Glu	GGG Gly
GUG Val	GCG Ala	GAG Glu	GGG Gly

* Терминирующие (стоп, нонсенс) кодоны.

(иногда его называют стандартным). Однако некоторые митохондрии (клеточные органеллы, имеющие свой маленький геном и производящие АТФ — главный источник внутриклеточной энергии) располагают так называемым вариантным (или нестандартным) генетическим кодом. «Дурному» примеру последовала группа реснитчатых простейших (биологи их называют цилиатами), которые тоже стали «возмутителями спокойствия» и уклонились от стандарта (табл.2). Как раз цилиаты бу-

дут одними из главных героев последующего повествования.

Однако сейчас вернемся к коду. Уже несколько десятилетий назад выяснилось, что три кодона из 64 (а именно UAA, UAG и UGA) не кодируют аминокислот (табл.1), а выполняют совершенно другую функцию. Они служат молекулярными сигналами, сообщающими рибосоме (клеточной частице, в которой происходит биосинтез белков), что ей пора остановить синтез полипептида, поскольку матрица (мРНК), по ко-

торой этот синтез происходил, исчерпала свою кодирующую нуклеотидную последовательность. Эти стоп-сигналы есть у всех живых организмов, однако в одних случаях преобладает один тип сигналов (например, UGA), а в других — иные.

Второй генетический код

Общеизвестно, что все обычные кодоны считываются (декодируются) в рибосоме с помощью небольших по размерам рибонуклеиновых кислот, называемых тРНК. Именно они содержат тринуклеотиды (антикодоны), комплементарные кодам мРНК, благодаря чему тРНК взаимодействует с кодоном мРНК, образуя дуплекс кодон-антикодон. Каждой тРНК и каждому антикодону соответствует определенная аминокислота, которая присоединяется к своей тРНК под действием специального фермента аминокислот-тРНК-синтетазы (aa-РСазы). Этот фермент узнает тРНК чаще всего по ее антикодону и в соответствии с ним присоединяет к 3'-концу тРНК нужную аминокислоту [1, 2]. Например, валил-РСаза присоединяет к 3'-концу валиновой тРНК именно валин, а не какую-либо другую аминокислоту. Специфичность этой реакции очень высока, и первый генетический код, о котором шла речь выше, реализуется в клетке без ошибок именно благодаря второму генетическому коду, условно говоря, треугольнику: аминокислота—тРНК—aa-РСаза. Сам термин «второй генетический код» в 1988 г. предложил нобелевский лауреат Де Дюв, когда стало ясно, что первый код без второго существовать не может, поскольку именно последний переводит генетическую информацию из ДНКовой формы в аминокислотную последовательность белка.

Пора вернуться к терминирующим кодам (их еще назы-

Таблица 2

Вариантные генетические коды реснитчатых инфузорий (по: Lozupone et al., 2001)

Таксон	Организм	Смысловой кодон	Стоп-кодон
Nassophorea	Zosterograptus Naxella	UAR→Gln	UGA
Colpodea	Colpoda	UGA→Trp	UAR
Oligohymenophorea	Tetrahymena Paramecium	UAR→Gln	UGA
Spirotrichea	Stylonychia Oxytricha Urostyla	UAR→Gln	UGA
Heterotrichea	Euplotes	UGA→Cys	UAR
	Stentor		UAR
	Blepharisma	UGA→Trp	UGA
	Eufolliculina	UAR→Gln	UGA
Karyorelictea	Condylostoma	UAR→Gln	UGA
	Condylostoma		
	Kentrophoros Loxodes	UAR→Gln	UAR

вают стоп-кодонами и нонсенс-кодонами), так как читателю осталось совершенно непонятно, как же заложенная в них информация об остановке синтеза реализуется в функционирующей рибосоме. И вот теперь на сцене у эвкариотических организмов появляются два белка (у бактерий их три), участвующие в окончании белкового синтеза, который биохимики и молекулярные биологи именуют терминацией трансляции. Дальше речь пойдет главным образом об эвкариотах, поскольку именно они служили главными объектами наших исследований, хотя в некоторых случаях не были забыты и бактерии (прокариоты).

Белки, декодирующие стоп-кодона

Факторы терминации трансляции делятся на два класса. У эвкариот к классу-1 относится белок по фамилии eRF1 (е — от англ. eukaryotes, RF — release factor, имеется в виду фактор освобождения полипептидных цепей). У бактерий этому фактору соответствует два белка — RF1 и RF2. Главная функция факторов класса-1 — передача информации с малой рибосомной субчастицы на большую о появлении в нуклеотидной последовательности мРНК терминирующего кодона (любого). После того, как этот сигнал (пока неизвестным для нас образом) попадает в большую рибосомную субчастицу, в ней под действием большой рибосомной РНК (28S рРНК у эвкариот и 23S рРНК у прокариот) пептидил-тРНК расщепляется (гидролизуется) на пептидную часть и свободную тРНК. Без фактора терминации класса-1 эта реакция не идет. Теперь становится понятнее, какие здесь существуют проблемы. Первая — понять, как фактор взаимодействует со стоп-кодоном. Это проблема белково-нуклеинового узнавания — такая же, как во втором

генетическом коде, где белок (aa-Pсаза) взаимодействует с тРНК. Вторая — понять, как белково-нуклеиновое взаимодействие преобразуется в сигнал для расщепления пептидил-тРНК. Задача эта чрезвычайно трудная и для бактерий, и для эвкариот. Передача сигнала происходит в сложнейшей макромолекулярной структуре, рибосоме, и мы пока крайне ограничены в средствах, которые помогли бы подобраться к ее решению. Совсем другая ситуация с первой проблемой, где с начала нового века удалось совершить рывок, который теперь позволяет говорить о третьем генетическом коде не абстрактно, а на языке аминокислот и нуклеотидов.

Естественно, что решать проблему третьего кода надо с белков, т.е. с факторов терминации трансляции класса-1, так как с нуклеиновой стороны — это известные три стоп-кодона. Как всегда в молекулярной биологии, успех пришел сначала для бактериальных систем, которые много проще, чем эвкариотические. Дело в том, что два бактериальных фактора класса-1 (RF1 и RF2) очень похожи структурно, но различаются функционально: оба узнают стоп-кодон UAA; кроме того, RF1 узнает UAG, а RF2 — UGA. Японские исследователи И.Накамура и К.Ито из Токийского университета решили воспользоваться этим подарком природы, чтобы выяснить, какие участки белковой цепи факторов узнают названные кодоны. Соединив в одной молекуле участки полипептидной цепи, взятые из RF1 и из RF2, они получили молекулярные гибриды и проверили их биологическую активность *in vivo* на дрожжах и *in vitro* биохимически. Изучив множество разных гибридов, установили, что белок RF1 узнает UAA и UAG с помощью трипептида Pro-X-Thr (я использую трехбуквенный аминокислотный код, а X означает, что химическая природа этой аминокислоты несущественна), а белок RF2 — с помощью трипептида Ser-Pro-Phe. Авторы назвали их белковыми антикодонами [3] по аналогии с антикодонами тРНК, декодирующими мРНК.

Это был большой успех, хотя метод молекулярных гибридов не позволял определить природу аминокислот, узнающих первую букву, одинаковую у всех трех стоп-кодонов. Чтобы как-то сдвинуть эту проблему с места, мы использовали известный метод анализа родственных аминокислотных последовательностей, имеющих схожую, но не одинаковую функцию. С его помощью мы искали у RF1 и RF2 одинаковые аминокислотные остатки (в обоих случаях они должны узнавать только U), расположенные поблизости от белковых антикодонов в трехмерной структуре. Найденные остатки и стали кандидатами на роль «узнавателей» первой буквы стоп-кодонов в мРНК в бактериальных рибосомах [4]. Такой биоинформационный подход обладает предсказательной силой, но чтобы проверить это предсказание, нужны соответствующие опыты, которые еще не сделаны. Рентгеноструктурный анализ комплекса RF2 с мРНК и рибосомой подтвердил, что белковые антикодона в этом терминационном комплексе действительно находятся вблизи стоп-кодона мРНК [5].

Для эвкариот метод молекулярных гибридов неприменим, поскольку у этих организмов все три стоп-кодона узнает один фактор класса-1, eRF1. Трехмерная структура этого белка похожа на латинскую букву Y или на трилистник (рис.1). В нем каждый из листочков (доменов) занимается своим делом. N-концевой домен повернут в сторону стоп-кодонов мРНК в рибосоме (это мы показали разными методами, а также английские, французские и японские исследователи в рамках совместных с нашей лабораторией исследований). Средний листок (домен M) повернут в противо-

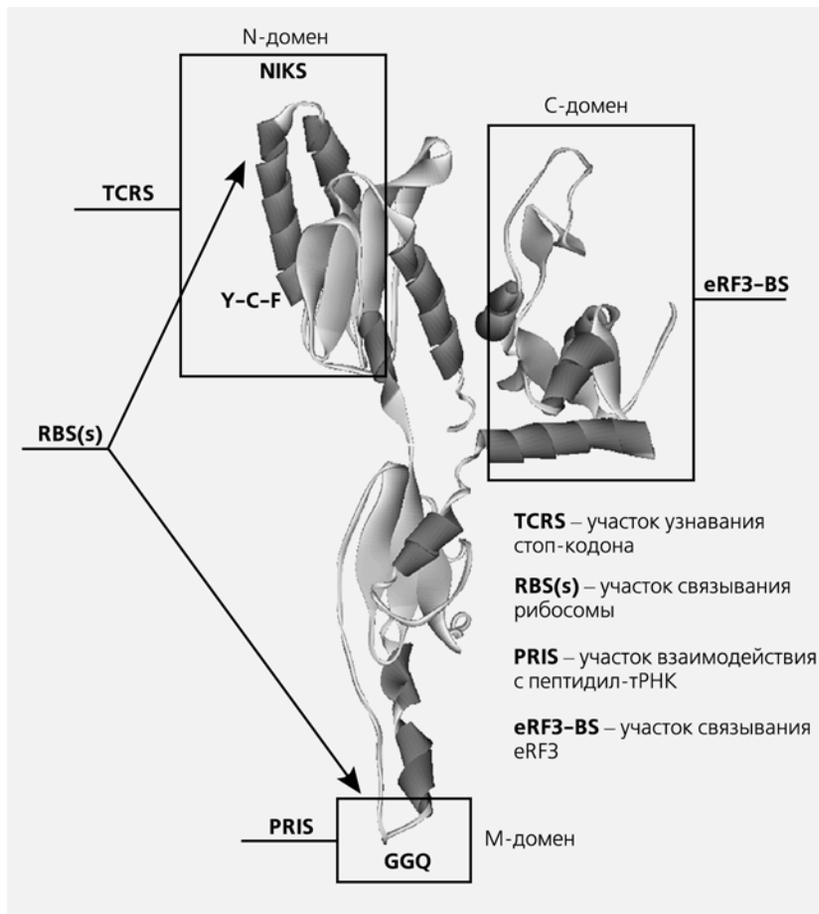


Рис. 1. Локализация функционально важных участков в трехмерной структуре eRF1 человека.

положную сторону и находится в большой рибосомной субчастице, в отличие от N-домена, располагающегося в малой рибосомной субчастице. Вместе с новосибирскими исследователями нам удалось выяснить, что в М-домене находится трипептид Gly-Gly-Gln, который одинаков у всех факторов класса-1 (у прокариот, эвкариот и архей) [6]. Этот трипептид расположен на самом конце М-домена и играет очень важную роль: если любой из двух глициновых остатков заменить на другую аминокислоту, активность eRF1 исчезает. Что касается С-домена, то он необходим для связывания с другим фактором терминирования, относящимся ко классу-2, названному eRF3 (о нем речь пойдет отдельно). Это установ-

лено тремя исследовательскими группами, в том числе и нашей, практически одновременно.

Сначала нужно было убедиться, что eRF1 отвечает за специфичность декодирования стоп-кодонов (как предполагали). Прямые экспериментальные доказательства были получены вместе с французскими исследователями [7]. Для этого мы использовали уже упоминавшуюся реснитчатую инфузорию *Euplotes*, которая имеет только два стоп-кодона — UAA и UAG. Мы получили eRF1 эуплоты в высокоочищенном виде и добавили к рибосомам, выделенным из кролика. Известно, что рибосомы млекопитающих способны считывать все три стоп-кодона в мРНК, если к ним добавить eRF1 из организма со

стандартным генетическим кодом. В нашем опыте, где встретились рибосомы, работающие со всеми тремя стоп-кодонами, и eRF1 инфузории, который «не понимает» UGA, оказалось, что UGA в такой смеси не читается как стоп-кодон. Значит, именно eRF1, а не рибосома или какая-то ее часть, определяет специфичность декодирования, и для расшифровки третьего кода у эвкариот нужно заниматься именно eRF1.

Работая на eRF1 человека, мы меняли в нем аминокислотные остатки, расположенные в разных частях N-домена, который, как уже упоминалось, смотрит в малой рибосомной субчастице в сторону стоп-кодона в мРНК. Выяснилось, что одни аминокислотные остатки в eRF1 очень важны для узнавания стоп-кодонов, а другие — нет. Удалось выявить два таких ключевых участка [8–10]. Один, названный YxSxxxF-мотивом (здесь использован однобуквенный аминокислотный код), участвует в узнавании 2-й и 3-й букв (G или A, гуанин и аденин) стоп-кодонов. Второй участок, который называется NIKS-мотивом, в первичной структуре eRF1 находится далеко от первого мотива, но в трехмерной структуре они сближены [11]. Он важен для узнавания первого нуклеотида стоп-кодона.

Легко заметить, что по своей структуре и составу эти мотивы совершенно не похожи на белковые антикодоны Pro-X-Thr и Ser-Pro-Phe, описанные у прокариот. Это показывает, что механизмы узнавания стоп-кодонов у прокариот и эвкариот разные, что вытекает из разного эволюционного происхождения eRF1 и aRF1 архей, с одной стороны, и RF1 и RF2 — с другой, о чем мы писали еще в 1994 г.

Роль YxSxxxF и NIKS мотивов в функции eRF1 выявили с помощью направленного точечного мутагенеза. Но хотелось получить дополнительные доказательства. Определить

ближайшее окружение стоп-кодонов внутри рибосом позволяют методы сшивки между нуклеиновой кислотой и белком, хорошо разработанные в лаборатории Г.Г.Карповой в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, и мы объединили усилия двух лабораторий. Приготовленный набор фотоактивируемых аналогов мРНК поместили в рибосому вместе с белком eRF1 и облучили, чтобы вызвать химическое «сшивание». С помощью высокочувствительной, но довольно сложной методики определили места сшивок. Действительно, первый нуклеотид стоп-кодона сшивался рядом с NIKS-мотивом, а второй и третий нуклеотиды — с участком YxСxxxF. Полученные результаты не оставляли сомнений: главные пептидные фрагменты eRF1, определяющие специфику его взаимодействия со стоп-кодоном, раскрыты.

Эти опыты дали также совершенно неожиданный результат: С-домен в рибосоме сближен со стоп-кодоном и с N-доменом, что никак не вытекает из трехмерной структуры eRF1 в растворе и в кристалле [11]. Так возникла гипотеза, согласно которой молекула eRF1 внутри рибосомы претерпевает существенные структурные изменения, благодаря чему N- и С-домены сближаются на 20–25 Å по сравнению со структурой свободного фактора. Ю.Н.Воробьев из новосибирского института с помощью молекулярного компьютерного моделирования построил модель eRF1 в рибосоме, которая по форме больше походила на тРНК, хорошо соответствовала А-участку рибосомы, где находился фактор, и объясняла все результаты, полученные методом сшивок и точечным мутагенезом. Таким образом, функционирование третьего генетического кода в рибосоме сопряжено с большими структурными перестройками белка eRF1, вызванными связыванием с рибосомой.

Как давно установлено, помимо eRF1 в терминации трансляции участвует фактор класса-2 eRF3, обладающий ГТФазной активностью в присутствии рибосом и eRF1 [12]. Однако до последнего времени биологическая роль eRF3 оставалась малопонятной. Для ее выяснения мы воспользовались двумя совершенно разными подходами. Совместно с лабораторией Т.В.Пестовой в Нью-Йорке мы полностью реконструировали белоксинтезирующую систему эвкариот из индивидуальных высокоочищенных компонентов [13]. Индивидуальные факторы трансляции эвкариот (а их больше 10), рибосомные субчастицы, тРНК и aa-РСазы выделили и очистили. В собранном виде система была функционально активной, что позволило исследовать в ней роль eRF3. Оказалось, что он взаимодействует с eRF1 и резко ускоряет терминацию, при этом катализируя расщепление ГТФ (гуанозинтрифосфата) до ГДФ и неорганического фосфата. В отличие от системы терминации белкового синтеза у бактерий, в нашем опыте ГТФ гидролизуеться до расщепления пептидил-тРНК, а не после. Отсюда вытекает, что eRF3 участвует в терминации кооперативно с eRF1, и это тоже отличает его от прокариотического аналога RF3. Возможно, eRF3 проверяет правильность взаимодействия eRF1 со стоп-кодоном в декодирующем центре рибосомы, поскольку ошибка на этой стадии может привести к тяжелым последствиям для клетки.

После того как установили роль eRF3, возник естественный вопрос: в каком виде поступают факторы терминации в рибосому? Это стало предметом нашего совместного с лабораторией А.А.Макарова исследования. Используя метод изотермического калориметрического титрования, определили термодинамические параметры связывания eRF1 и eRF3 между собой и с гуаниновыми

нуклеотидами, что позволило представить наиболее вероятную последовательность событий в цитозоле. Сначала eRF3 связывается с ГДФ, затем к этому комплексу присоединяется eRF1, а в присутствии иона магния и ГТФ превращается в комплекс, состоящий из двух факторов, ГТФ и ионов магния, не обладающих ГТФазной активностью. Однако при связывании с рибосомой эта активность появляется, что приводит к распаду комплекса с последующим гидролизом пептидил-тРНК. В каком порядке факторы покидают рибосому, нам пока неизвестно. Таким образом, впервые удалось показать, как образуется терминационный комплекс на рибосоме.

Для того чтобы продвинуться в расшифровке третьего генетического кода, необходимо не только понять, как узнаются все три стоп-кодона в мРНК фактором терминации класса-1, но и выяснить, как ограничивается узнавание одного или двух стоп-кодонов. Несколько исследований групп (включая нашу) показали, что eRF1 у инфузорий не узнает один или два стоп-кодона в зависимости от видовой принадлежности организма. Например, eRF1 стиложихии и парамеции узнают только один стоп-кодон UGA, а два других — UAG и UAA — кодируют у них аминокислоту глутамин. Инфузория эуплота, напротив, использует UGA как кодон для аминокислоты цистеина, а UAA и UAG остаются стоп-кодонами.

Мы разработали специальную стратегию, чтобы выяснить, каким образом eRF1 инфузории перестают узнавать один или два стоп-кодона. Для этого сделали молекулярные химеры, в которых N-домен был из eRF1 инфузории того или иного вида, а остальная часть (M- и С-домены) принадлежала eRF1 человека. Такие химеры полностью сохраняли свою биологическую активность при тестировании *in vitro*, которая определялась

N-доменом, взятым из eRF1 инфузории. Затем получали внутридоменные химеры, где комбинировали фрагменты N-доменов инфузорий и человека. Внутридоменные химеры тоже оказались биологически активны, благодаря чему мы смогли определить, какие аминокислоты превращают омнипотентный eRF1 человека в унипотентный или бипотентный eRF1. Удалось выяснить, что три рода инфузорий — стилонихия, парамеция и эуплота — используют совершенно разные участки N-доменов с разными аминокислотными остатками (мы назвали их дискриминаторами). У двух организмов из трех исследованных эти участки располагаются рядом с NIKS- и YxCxxxF-мотивами, узнающими стоп-кодоны. Отсюда возникло предположение, что дискриминаторы сте-

рически препятствуют контакту некоторых стоп-кодонов со своими участками узнавания в eRF1.

Из этих данных стало очевидно, что переход от универсального генетического кода к вариантному коду у разных групп инфузорий происходил совершенно разными путями. Это полностью соответствует гипотезе генетиков, согласно которой реснитчатые инфузории очень рано отделились от древнего предка и эволюционировали самостоятельно. Таким образом, исследование третьего генетического кода позволило яснее представить себе древнее событие в эволюции — появление вариантного кода на фоне уже сложившегося универсального.

Знание третьего генетического кода, безусловно, имеет

и большое практическое значение. Многие наследственные болезни связаны с появлением стоп-кодонов в кодирующих частях мРНК, что приводит к появлению биологически неактивных укороченных белков. Заставляя клетку читать такие «незаконные» стоп-кодоны как значащие, можно восстановить синтез белков нормального размера и тем самым восстановить их функцию (рис.2) [14].

Нам осталось подвести краткие итоги. Третий генетический код, безусловно, существует, хотя его расшифровка еще до конца не закончена. Можно утверждать, что в отличие от универсального первого и второго генетических кодов третий код, работающий на стадии терминации трансляции, различен у эвкариот и прокариот, что не было предсказано ранее. Оче-

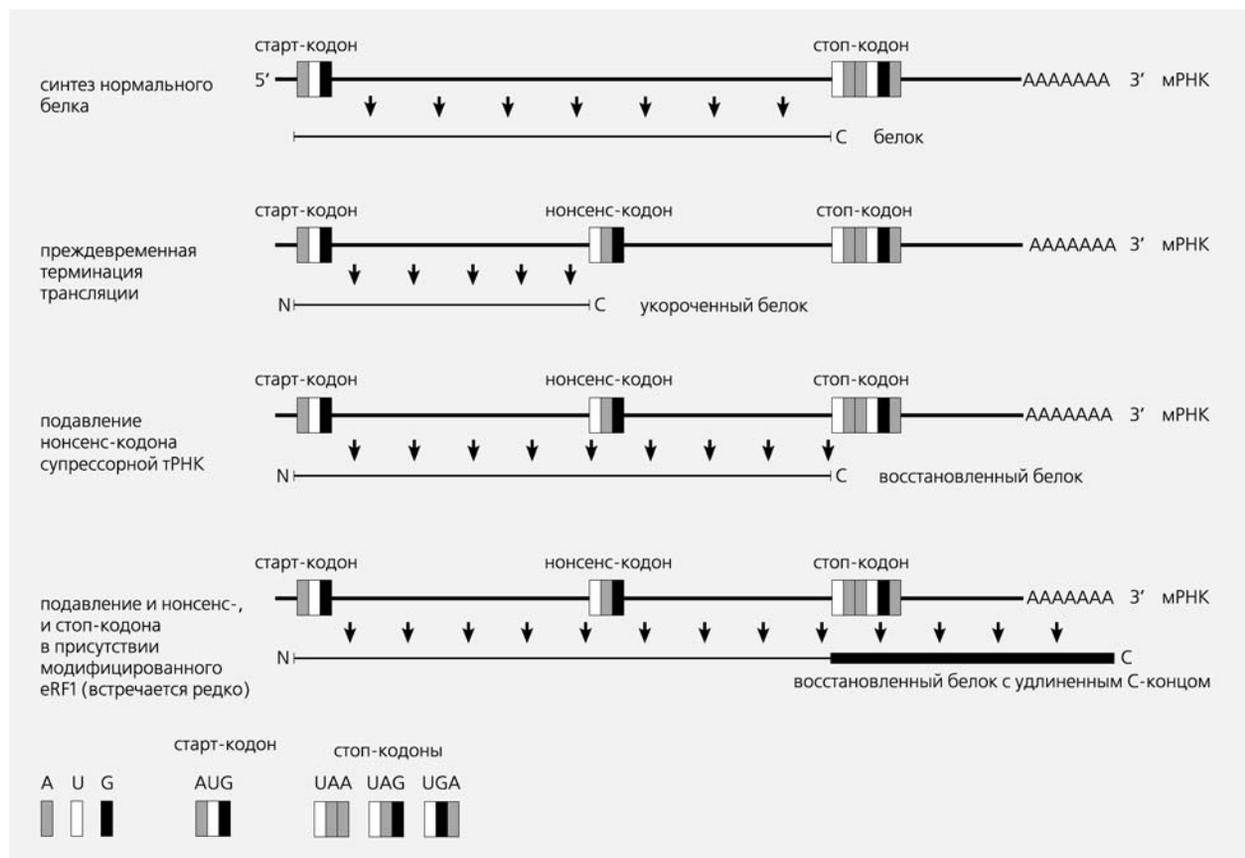


Рис.2. Схема, поясняющая основную идею трансляционной терапии. Исправлять nonsense-мутации в мРНК, полученной от мутантной ДНК, можно, изменяя конкурентные отношения между фактором терминации eRF1 и супрессорными tRNA [15].

видно, что третий код не похож на второй, поскольку здесь взаимодействуют не две гомополимерные цепочки, как при кодон-антикодонном взаимодействии, а линейная цепочка нуклеотидов (стоп-кодон) узнается разными фрагментами полипептидной цепи белкового фактора терминации класса-1 в трехмерном пространстве внутри рибосомы. Далее, скорее всего, точность декодирования третьего кода у эукариот недостаточно высока, и поэтому возник дополнительный механизм

проверки кодового соответствия, в котором, видимо, важную роль играет фактор класса-2 eRF3.

Что нужно сделать, чтобы завершить эту недописанную главу молекулярной биологии? Нужно решить несколько крайне трудных задач. Во-первых, установить трехмерную структуру рибосом эукариот. Пока этого не удалось сделать, несмотря на многолетние усилия многих лабораторий. Во-вторых, необходимо с высокой точностью определить расположение eRF1

внутри рибосомы. В-третьих, получить в кристаллическом виде терминационный комплекс и затем расшифровать взаимное расположение нуклеотидных и аминокислотных остатков в декодирующем центре рибосомы. Все эти цели, безусловно, достижимы, однако потребуются и большие усилия, и достаточно время. Но игра стоит свеч. Только после этого можно будет считать, что три кита, на которых стоит живая природа, — три генетических кода — до конца расшифрованы. ■

Литература

1. Киселев Л. Кодазы и биосинтез белков // Природа. 1974. №3. С.24—33.
2. Киселев Л. Роль антикодона в акцепторной функции тРНК // Природа. 1975. №3. С.102.
3. Ito K., Uno M., Nakamura Y. // Nature. 2000. V.403. P.680—684.
4. Oparina N., Kalinina O., Gelfand M., Kisselev L. // Nucl. Acids Res. 2005. V.33. P.5226—5234.
5. Petry S., Brodersen D.E., Murphy F.V. et al. // Cell. 2005. V.123. P.1255—1266.
6. Frolova L.Y., Tsvikovskii R.Y., Sivolobova G.F. et al. // RNA. 1999. V.5. P.1014—1020.
7. Kervestin S., Frolova L., Kisselev L., Jean-Jean O. // EMBO Reports. 2001. V.2. P.680—684.
8. Seit-Nebi A., Frolova L., Kisselev L. 2002. Conversion of omnipotent translation termination factor eRF1 into ciliate-like UGA-only unipotent eRF1. EMBO Rep.
9. Frolova L., Seit-Nebi A., Kisselev L. // RNA. 2002. V.8. P.129—136.
10. Kolosov P., Frolova L., Seit-Nebi A. // Nucleic Acids Res. 2005. V.33. P.6418—6425.
11. Song H., Mugnier P., Webb H.M. et al. // Cell. 2000. V.100. P.311—321.
12. Frolova L., Le Goff X., Zhouravleva G. et al. // RNA. 1996. V.2. P.34—41.
13. Alkalaeva E.Z., Pisarev A.V., Frolova L.Yu., Kisselev L.L., Pestova T.V. // Cell. 2006. V.25. P.1125—1136.
14. Киселев ЛЛ. // Вестник РАН. 2006. Т.76. №3. С.219—229.
15. Киселев ЛЛ. Как остановить синтез белка // Природа. 2003. №8. С.59—65.

По данным американских гидрологов, источники пресных вод на Северо-Востоке США все более засоляются. На протяжении последних 30 лет концентрация хлористых соединений в отдельных реках уже превысила установленную норму — 250 мг/л. Этот процесс осолонения тесно связан с развитием дорожной инфраструктуры и возрастающим применением соли на дорогах в зимнее время. При сохранении такой тенденции поверхностные воды станут непригодными для использования уже на протяжении этого века.

Terre Sauvage. 2005. №211. P.51 (Франция).

Генетики Института Пастера (Париж, Франция) исследовали геномы 175 возбудителей лепры (проказы) — бактерий *Mycobacterium leprae*, выделенных в 21 стране. Анализ показал, что все случаи заболевания в мире сходятся к единому источнику, возникшему в Восточной Африке около 100 тыс. лет назад (ранее полагали, что проказа происходит из Индии). Лепра и сейчас остается актуальной проблемой: по информации Всемирной организации здравоохранения, только в 2003 г. в мире зарегистрировано 500 тыс. случаев заболевания.

Sciences et Avenir. 2005. №700. P.38 (Франция).

Королевское общество защиты птиц (Великобритания) объявило всемирную кампанию по спасению альбатросов: почти все виды этого семейства находятся сейчас под угрозой исчезновения. Ежегодно около 100 тыс. альбатросов, садясь на воду или ныряя, погибают в сетях рыбопромысловых судов. Орнитологи обучат рыбаков простым мерам, с помощью которых можно эффективно снизить смертность птиц, в первую очередь — способу быстрого освобождения альбатросов от рыболовных крючков, которые они заглатывают с приманкой.

Terre Sauvage. 2005/2006. №212. P.50 (Франция).

Корзинка

История из жизни замечательных червей

И.М.Шейман, Н.Ю.Сахарова

Замечательные черви — это планарии. Они впервые обратили на себя внимание натуралистов более двух с половиной веков назад: если маленького червячка разрезали на несколько частей, то из каждой части в скором времени образовывалась новая полноценная особь. На протяжении прошедших с тех пор лет это свойство планарий возбуждало интерес у исследователей разных направлений биологии. Способность **регенерировать** на самом деле присуща в какой-то степени многим видам животных и разным органам. Но у планарий она выражена в такой демонстративной форме, что делает их привлекательными для экспериментального исследования многих вопросов, связанных с биологией развития. В частности, на протяжении длительного времени, включая современный период, эти черви служат излюбленным объектом для изучения основ регенерации. Увлеченные писатели от науки, переносившие описание замечательных особенностей планарий из книги в книгу, утверждали, что червяка можно разрезать на 100 частей, и из каждой части восстановится новое существо. На каком-то этапе описаний число 100 удвоилось. А затем и утроилось. Эти числа не имеют под собой достаточно оснований, хотя регенерацион-



Инна Моисеевна Шейман, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биофизики клетки РАН. Научные интересы включают исследования по проблемам памяти и морфогенеза беспозвоночных.



Наталья Юрьевна Сахарова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН. Область научных интересов — клеточные взаимодействия при регенерации и в раннем эмбриогенезе животных.

ная способность, свойственная планариям, действительно огромна.

Сенсация Мак-Коннелла

По зоологической классификации планарии относятся к типу плоских червей, которые представляют ключевое звено в эволюции по ряду важнейших признаков. У этих червей **впервые** возникает билатеральная

симметрия, **впервые** происходит концентрация нервных элементов в центральную нервную систему, **впервые** на головном конце тела формируется головной ганглий («мозг»). К этому следует добавить еще ряд замечательных свойств: способность к бесполому размножению наряду с половым; способность к каннибализму; способность в процессе пищеварения превращать трубку кишечника в единый симпласт (многоядерный слой без межклеточных пе-

регородок) с последующим восстановлением исходной структуры; выполнение кишечником одновременно пищеварительной и распределительной функций; и, наконец, колоссальная морфогенетическая пластичность, лежащая в основе регенерации при восстановлении структуры кишечника в ходе пищеварения, во время бесполого размножения, а также при искусственном повреждении тела.

Планарии половых форм — гермафродиты, их органы размножения располагаются в передней части тела. Глотка — мышечный орган, с помощью которого поглощается пища, — расположена на середине брюшной поверхности тела. У разных видов планарий (кстати, их обычные размеры — от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров) бывают два простейших глаза на переднем конце тела или множество по его краям.

Научный интерес к планариям пережил несколько пиков. Последний случился в середине прошлого века, точнее, в середине 50-х годов. Американский зоопсихолог Дж.Мак-Коннелл изучал поведение этих червей — вырабатывал у них условные рефлексы на сочетания света и раздражения электрическим током и наблюдал сокращения тела. Он также обучал их выбору направления в Т-образном лабиринте. Мак-Коннелл знал о способности планарий к регенерации, а его личная склонность к фантазии возбудила в нем вопрос: что будет, если разрезать поперек обученную планарию и позволить регенерировать двум половинкам? Задумано — сделано. Обе планарии, восстановленные из одной обученной и разрезанной пополам, через две недели после операции воспроизводили результат обучения, т.е. сохраняли образовавшийся до перерезки памятный след! Поскольку у новых особей память была равноценной, а ганглий оставался только у одной исходной половинки планарии, Мак-Коннелл заклю-

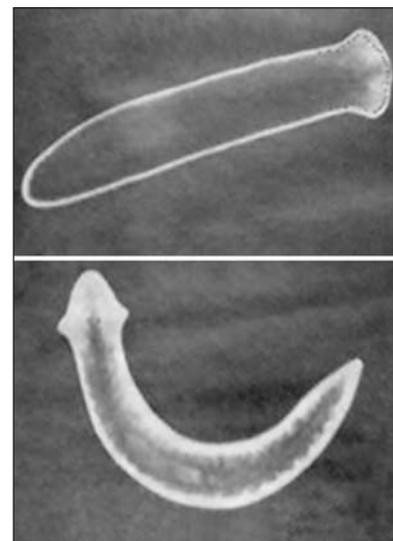
чил, что «мозг» тут ни при чем. И приписал сохранение памятного следа недифференцированным клеткам — необластам, которые служат материалом для восстановления утраченных половинок [1].

В ту пору мысли биологической научной общественности были прикованы к молекуле ДНК. Мак-Коннелл решил, что подобно тому, как ДНК кодирует генетическую память, информация о памяти мозга может быть записана на подобных ДНК, но более пластичных молекулах — РНК, которыми богаты необласты. Чтобы это проверить, зоопсихолог прибег к оригинальному способу, используя склонность планарий к каннибализму. Обученных червей накалывал наподобие бифштекса и предлагал их в качестве кандидатов на съедение голодным необученным планариям. Поеввшие своих собратьев планарии-реципиенты воспроизвели условные рефлексы, или памятный след, своих жертв (доноров). Как и в предыдущем опыте, произошла передача памятного следа новым структурам. Ученый был окрылен «подтверждением» своей идеи о существовании и переносе «молекул памяти», которые, как он думал, передаются и при регенерации, и при кормлении [2].

Последовали эксперименты с выделением общей РНК из обученных планарий и кормлением ею голодных червей, а также введением ее путем инъекций. Результаты иногда давали положительный эффект.

Эти сенсационные опыты и мысли Мак-Коннелла вызвали в широких научных кругах ажиотаж и вскружили многие головы, имевшие весьма малое отношение к предмету. Разные лаборатории принялись обзаводиться планариями и кое-как «обучать» их, резать, кормить разными РНК и т.д.

Иногда опыты Мак-Коннелла удавалось воспроизвести, иногда его результаты опровергались. Часто эксперименты ста-



Две планарии, послужившие для изучения памятного следа: многоглазая *Ijimia tenuis* (вверху) и двуглазая *Dugesia tigrina*.

вились неумело. В мировой научной и околонаучной печати шумели дискуссии. Наконец, ажиотаж улегся. Мысли Мак-Коннелла не были ни доказаны, ни опровергнуты, и, главное, результаты многолетних опытов не получили объяснения. Американский зоопсихолог умер под натиском критики, а его сотрудники разбрелись по другим лабораториям.

На родной почве

Отечественные биологи не остались в стороне от описанного ажиотажа. На начало 60-х годов пришлась организация Научного центра биологических исследований в Пущине-на-Оке. В этом Центре предполагалось развивать новые идеи на основе современных подходов и методов преимущественно физико-химической направленности. Заместителем директора-организатора был назначен работавший до того сотрудником Отдела науки ЦК А.Н.Черкашин (в ранней молодости — физиолог, ученик академика Л.А.Орбели). В Научном центре планиро-

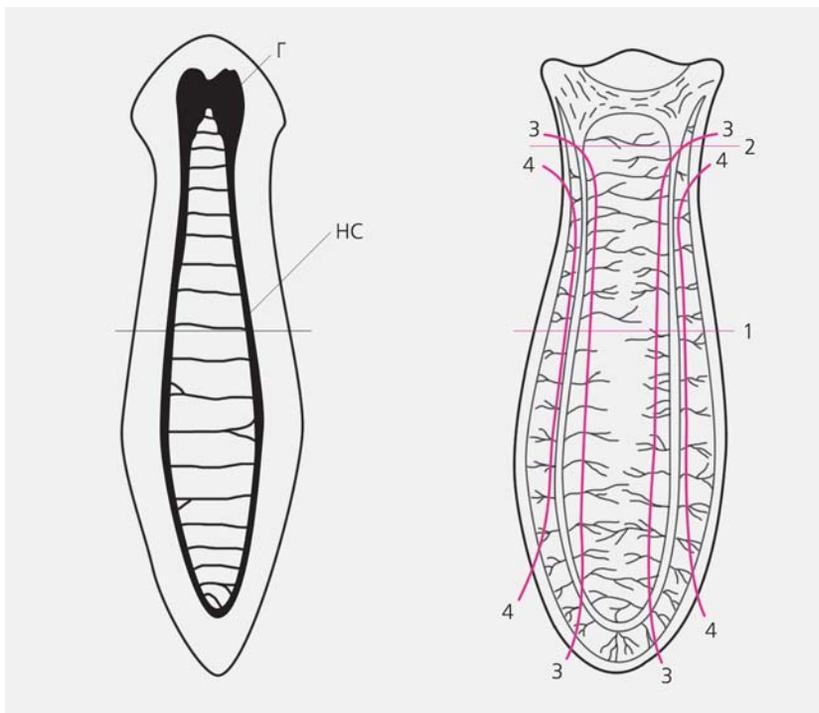


Схема строения центральной нервной системы планарий (слева) и перерезки червя пополам. Г — ганглий; НС — нервные стволы.

валось создать Институт проблем памяти. Эта идея, в частности, была навеяна «планарной» сенсацией и достижениями молекулярной биологии. Дело в том, что работы Мак-Коннелла также стали причиной возросшего во всем научном мире интереса к явлениям памяти. Он коснулся и организаторов Центра. Имея известную свободу действий и будучи человеком увлекающимся, Черкашин решил тоже принять участие в исследовании памяти на планариях. С этой целью он взял на работу несколько молодых биологов: Инну Шейман, только что защитившую кандидатскую диссертацию по высшей нервной деятельности; Эмму Сергееву, окончившую Дальневосточный университет, находившийся во Владивостоке; Галю Богоровскую — студентку кафедры эмбриологии МГУ. В составе организованной в Москве первой научной группы биологи прибыли вместе с планариями в Пущино 28 марта 1964 г. Спустя го-

ды группа постепенно пополнилась, в нее пришли: гистолог Иван Ефимов, эмбриологи Наташа Сахарова, Алик Азарашвили и Гарик Тирас, зоологи Люда Попкова и Наташа Крещенко, специалистка по высшей нервной деятельности Елена Зубина.

Из пущинских научных учреждений тогда строился Институт биофизики. Группа разместилась в здании его будущего вивария и приступила к своим первым экспериментам в весьма «романтических» условиях: при отсутствии оборудования, инфраструктур, удобств, магазинов и отрезанности от ученого мира весенним половодьем Оки.

Первые планарии были привезены с биологической станции МГУ, которая находилась в Чашникове. Предстояло найти местные источники животных. Походы по берегам Оки и обследования многочисленных мелких и средних старичных озер оказались успешными — молодые ученые обнаружили

планарий нескольких видов. (В более поздние годы сельское хозяйство полностью истребило эту живность, да и уничтожило сами озера.) И приступили к исследованиям.

Для начала повторили опыты Мак-Коннелла. Молодой дух противоречия, сдобренный советским патриотизмом, настроил психологическую «установку» на опровержение результатов, полученных американцем. Каково же было удивление честных энтузиастов, когда эти результаты подтвердились!

И тогда начались поиски научного объяснения сенсационных эффектов. Для экспериментального анализа придумали два специальных подхода и применили дополнительные методы.

Первый подход был использован, чтобы понять, как сохраняется памятный след при регенерации. Планарий перерезали таким образом, чтобы в одних частях тела оставались участки центральной нервной системы (ЦНС), ганглия или продольных нервных стволов, а в других ничего этого не было. Если планарий предварительно обучали, то после регенерации фрагментов с сохраненными элементами ЦНС у новых особей воспроизводился памятный след, а фрагменты, полностью лишенные участков ЦНС, не только **его не сохраняли**, но и не регенерировали, хотя оставались какое-то время живыми. Так была установлена зависимость регенерации и сохранности памятного следа от наличия ЦНС, хотя бы небольшой ее части. Кроме того, обнаружилось, что после перерезки обученных планарий пополам головная половинка, содержащая ганглий, воспроизводила памятный след даже на следующий день после операции. У хвостового же фрагмента, лишённого ганглия, но с целой частью ЦНС в виде остаточных нервных стволов, памятный след проявлялся только после пяти суток регенерации.

Следовало изучить, что происходит в хвостовой половинке

планарии за то время, в течение которого памятный след кажется утраченным, но на самом деле сохраняется и обнаруживается позже. Галя Богоровская в своей дипломной работе провела гистологический анализ регенерирующих хвостовых фрагментов в каждый из пяти дней. В результате выяснилось, что после операции происходят интересные события. В направлении обрезанных остаточных нервных стволов и затем вдоль них к раневой поверхности мигрируют необласты — недифференцированные резервные клетки. Их скопление формирует на раневой поверхности регенерационную почку, или бластему. Одновременно в том же направлении прорастают нервные волокна из клеток остаточных нервных стволов, сохранившихся в хвостовом фрагменте. В бластеме необласты собираются вокруг проросших волокон, которые к пятому дню смыкаются. Таким образом формируется зачаток нового ганглия. Позднее Наташа Сахарова вместе с Ритой Гордон и Гариком Тирасом провели гистохимические исследования (изучили нейросекрецию, холинэстеразную активность) и выяснили, что ко времени смыкания в ганглии проявляются свойства нервного образования. Следовательно, необласты уже дифференцировались и приобрели структурные и функциональные черты нейронов за счет контакта с перерезанными нервными стволами. Приобретая специализированные свойства, ганглий оказался способным воспроизводить также и памятный след, образованный у исходной планарии.

Здесь нужно сказать, что собой представляет воспроизведение памятного следа. Не следует думать, что такое явление можно наблюдать у более высоко организованного существа. Дело в том, что планарии — животные с очень ограниченным потенциалом реакций. На любое раздражение черви реагируют (отвечают) сокращением или поворо-

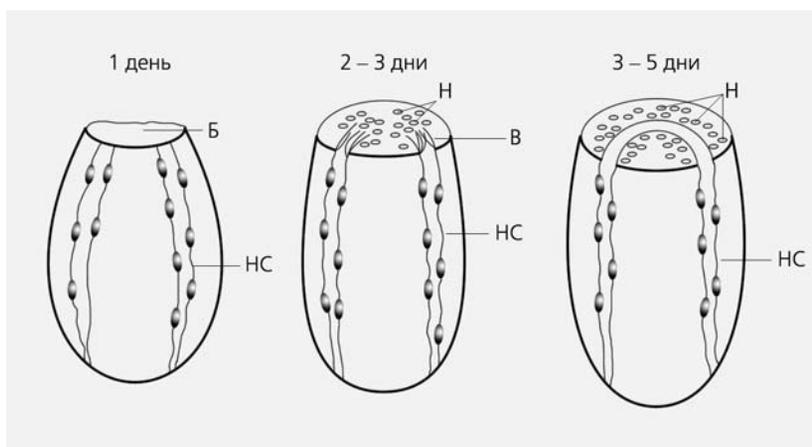


Схема регенерации ганглия планарий. НС — нервный ствол; В — нервные волокна; Б — бластема, Н — необласты, дифференцирующиеся в клетки ганглия.

том тела. Поэтому при выработке у них условных рефлексов применили особый подход: использовали подпороговые величины условных раздражителей, которые в сочетании с электрическим раздражением вызывали реакции (ответ), т.е. становились сигнальными. По существу повышалась чувствительность нервной системы планарий к условным раздражителям, что и было принято за условный рефлекс. При регенерации такое повышение передавалось новым структурам от остатков нервных стволов наряду с сообщением им основных признаков нейронов.

Таким образом, передача необластам определенных свойств от сохранившихся нервных стволов была четко установлена. И это объясняет феномен переноса памятного следа новому ганглию при регенерации планарий. (Не исключено, что аналогичный ход событий присущ и более сложным нейрофизиологическим процессам.) Однако механизмы такой «эстафеты», как и направленной дифференцировки необластов, **остаются непонятными** по сей день.

В течение того времени, пока продолжались целенаправленные исследования, изменялся состав сотрудников группы. В разное время кто-то прибывал, кто-то выбывал... Отдалился

от нее и главный меценат, что осложнило работу группы.

«Этого не может быть, потому что не может быть никогда»

Второй подход был применен для объяснения наиболее сенсационного «переноса памяти» при каннибализме. Передача памятного следа от старых нервных структур вновь образующимся у регенерирующих планарий имела объяснение на клеточном уровне. Но перенос через каннибализм посредством гипотетических «молекул памяти» действительно представлялся невероятным. Приходила в голову мысль, что сам процесс питания у планарий приводит к общему неспецифическому повышению возбудимости в центральной нервной системе в ответ на любые воздействия. На таком фоне и увеличивается число реакций на предъявляемые раздражители. И эта мысль была верной, поскольку у планарий, как уже говорилось, невозможно получить дифференцированные реакции — на разные раздражители они реагируют качественно одинаково. Выходило, что результаты опытов Мак-Коннелла, а также повторенных у нас, представляют собой артефакты.

Чтобы в этом удостовериться окончательно, пришлось изобрести еще один прием.

Начали снова повторять эксперименты Мак-Коннелла. Но наши планарии (*Ijimia tenuis*), выловленные в старичных озерах вдоль Оки, не желали есть друг друга. Выход нашелся, когда кто-то завез из Америки в Ленинградский университет лабораторную бесполоую расу другого вида — *Dugesia tigrina*. Эти черви размножаются простым отделением хвостового фрагмента с последующей регенерацией двух новых особей. Только что пришедший из армии прирожденный биолог Алеша Карпов из нескольких подаренных нам *D.tigrina* создал огромную популяцию из сотен тысяч планарий. Эти животные охотно поедали своих слегка поврежденных собратьев.

Условные рефлексы вырабатывали у планарий (разделив их на две группы) «хитрым» способом. Каждый из подпороговых раздражителей — вибрацию или освещение — сочетали с электрическим воздействием. Ответ в группах на оба условных раздражителя был одинаковым по форме, но «световые» планарии реагировали только на свет, а «вибрационные» — только на вибрацию. Так образовались две

группы обученных планарий. Они и стали жертвами каннибализма — ими покормили планарий-реципиентов. Каждую такую группу в свою очередь поделили пополам и подвергли испытанию на один из условных раздражителей. Итак, половину группы планарий, поевших «световых» доноров, тестировали на свет, а другую половину — на вибрацию. Точно так же поступили с реципиентами «вибрационных» доноров. Вопреки ожиданиям, эффект у реципиентов оказался специфическим, т.е. они отвечали большим количеством реакций только на раздражитель, сигнальный для поеденных ими доноров. Казалось бы, этот опыт подтвердил вывод Мак-Коннелла (во всяком случае, если бы он получил такие данные, то не подвергся бы столь жестокой критике).

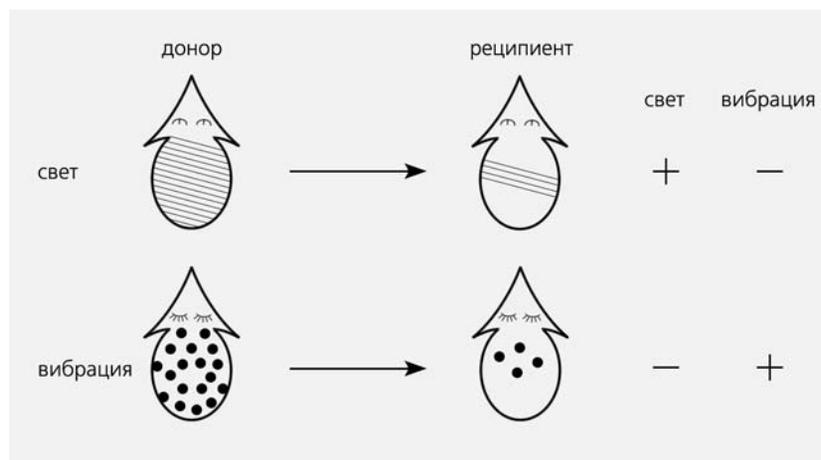
Но на этом все не закончилось. Добытые факты были проанализированы во времени. Разные группы реципиентов тестировали условным раздражителем их доноров через разные промежутки времени (часы и дни) после кормления. И тут-то получили новые и совершенно неожиданные результаты. Эффект проявлялся через пять-шесть часов после кормления планарий и держался три дня,

после чего плавно убывал на четвертые-пятые сутки после кормления. Следовательно, от доноров к реципиентам не переносились «молекулы памяти». Проявлялось хотя и специфическое, но кратковременное повышение возбудимости.

Возникла новая задача. Следовало узнать, как связана полученная картина с процессом, происходящим в теле планарии после кормления, — с пищеварением. Все, что было известно о нем, ни в какой мере не отвечало на вопросы, вызванные последними опытами. Потребовался гистологический анализ тела планарий после кормления по часам и дням, подсказанным предыдущим опытом. За анализ взялась Наташа Сахарова.

Кишечник планарий являет собой трубку с однослойной стенкой, в клетках которой происходит пищеварение. Через пять-шесть часов после кормления эти клетки образуют амебодные отростки, направленные в сторону внутренних структур червя, в том числе в сторону нервных стволов и ганглия. Известно, что планарии лишены специальной распределительной системы. (У более высокоорганизованных животных эту функцию выполняет кровеносная система.) Очевидно, что через такие отростки питательные вещества передаются тканям тела после частичного переваривания пищи. В дальнейшем кишечная структура полностью перестраивается, образуется симпласт, в котором «плавают» продолжающие перевариваться пищевые частицы, и который окружает все органы планарий. Там между ними происходит непосредственный контакт. Через три дня начинает восстанавливаться исходная структура кишечника и происходит его естественная регенерация. Пищеварение и доставка клеткам организма питательных веществ протекают одновременно и на этом заканчиваются.

Так была установлена временная связь между проявлени-



Схема, иллюстрирующая передачу планариям-реципиентам условных рефлексов, выработанных на свет или вибрацию у планарий-доноров. Знаками + и — отмечено наличие или отсутствие условного рефлекса у реципиента.

ем следов памяти при каннибализме и процессом пищеварения. Специфические реакции на раздражители воспроизводились у планарий-реципиентов в тот отрезок времени, когда клетки тела (в том числе нервные структуры) контактировали с пищевыми частицами. Это был кратковременный эффект — он исчезал с прекращением пищеварения и, очевидно, с полным распадом пищевых веществ.

Требовалось объяснить довольно сложное — хотя и кратковременное, но специфическое — повышение возбудимости у планарий-реципиентов. И было высказано такое предположение: у планарий-доноров при выработке условных рефлексов повышается возбудимость в тех нервных структурах, которые воспринимают условный раздражитель. При попадании в тело реципиента и частичном распаде осколки этих структур воздействуют на основе биохимического сродства на соответствующие им нервные элементы реципиентов, повышая в свою очередь их возбудимость. После полного распада осколков этот эффект прекращается.

Такое объяснение подтвердилось в сопутствующем опыте, когда применили изотопную метку, чтобы различить двух разных доноров. ^3H -уридин вводили планариям обоих видов (*D.tigrina* и *I.tenuis*), реципиентами были планарии *D.tigrina*. Доноры оказались мечеными по-разному: клетки первого вида содержали больше метки, чем второго, а клетки нервных структур меньше, чем других тканей. После кормления такими донорами исследовали распределение метки в теле реципиентов в уже обозначенные в предыдущих опытах временные промежутки. В ганглии реципиентов, поевших доноров *D.tigrina*, метка появилась через 6 час после кормления, а наибольшее число клеток, содержащих ^3H -уридин, было отмечено через трое суток. Затем количество меченых клеток убывало,

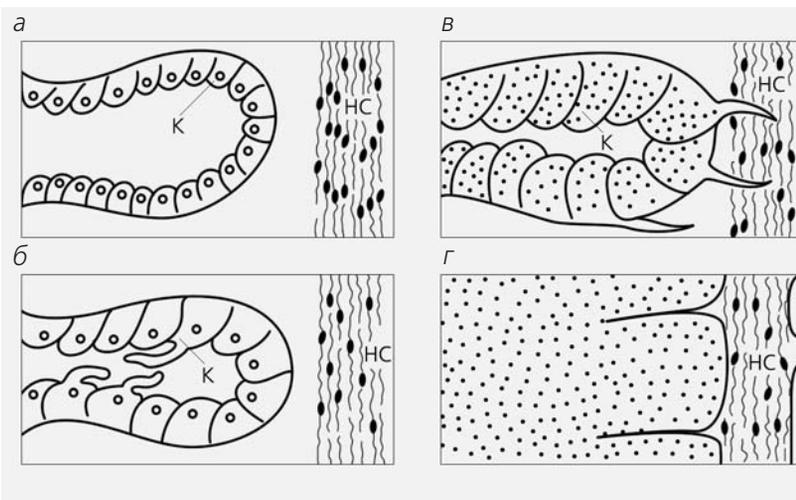


Схема перестройки кишечника. а — в покое; б — в начале пищеварения; в — через 6 ч после кормления. г — симпласт. К — клетки стенки кишечника; НС — нервный ствол.

пока не исчезло полностью. В ганглии планарий, кормленных донорами *I.tenuis*, меченые частицы распространялись медленнее и менее интенсивно. Эти опыты показали, что пищевые частицы разносятся в теле реципиентов активнее, если они одного вида с донорами. Кроме того, подтвердился и неслучайный характер распределения пищевых частиц. Очевидно, они движутся не хаотически, а направленно, и их взаимодействие с клетками реципиентов основано на химическом сродстве. Тем самым подтвердилось высказанное объяснение опытов, в которых поведение обученных планарий передавалось реципиентам.

Таким образом, обнаружилась корреляция между проявлением специфической возбудимости, клеточной реорганизацией пищеварительной системы и системой активного распределения пищевых веществ. Попортившие много крови нашумевшие опыты по «переносу памяти», наконец, можно было объяснить следующим образом. Специфические вещества, которые образовались при определенной стимуляции доноров и попали в клетки ганглии реципиентов

с пищевыми частицами, оказывали возбуждающее действие на соответствующие по химическому сродству их клетки. И у реципиентов **имитировалось** возбуждение доноров. Это состояние индукции длилось до тех пор, пока не заканчивалось полное переваривание — распад пищевых частиц — и восстановление структуры кишечника.

В печати довольно долго продолжалась критика работ Мак-Коннелла о «молекулах памяти» с известной мотивацией — «не может быть». В газетах выступали философы. Что же касается проведенных нами опытов и высказанных объяснений, то на том же основании нам отказали в публикации. Лишь гистологическую часть удалось малозаметным путем отослать в иностранный журнал [3, 4]. А полностью работа была издана только в канун перестройки [5].

Возвращаясь к морфогенезу

Естественное продолжение этих исследований было заблокировано. Между тем одновременно и в последующих наших экспериментах (в течение 70—

80-х годов) на планариях все четче улавливалась связь между процессами, обеспечивающими формирование памятного следа, и элементами морфогенеза. Впервые она обнаружилась, как уже здесь упомянуто, когда анализировался сам факт сохранения памятного следа в процессе регенерации планарии. Исходя из первоначального интереса к молекулам РНК как переносчикам памяти, у нас была проведена следующая работа. Иван Ефимов помещал планарий в раствор РНКазы, затем перерезал их и на препаратах ганглия наблюдал за естественной деструкцией (апоптозом), сопровождающей любой процесс развития. Спустя четыре часа после перерезки количество разрушающихся клеток в ганглии контрольных и опытных планарий увеличивалось до максимума, который у последних был значительно выше. Если у таких планарий экспериментаторы предварительно выработали условный рефлекс, то он после регенерации не сохранялся. В сходном опыте планарий опускали в раствор РНКазы после перерезки. В этом случае деструкция клеток была ниже, чем у контрольных особей, и сохранялся условный рефлекс. Эти опыты никак не объяснили роли РНК в изучаемых процессах, но показали, что такой элемент развития, как деструкция части клеток, существен для сохранения памятного следа [6].

Новое обнаружилось в поведении «факторов регенерации», т.е. агентов, образующихся при

восстановительных процессах. Гарик Тирас исследовал, как проявляют себя эти факторы в ходе регенерации планарий. Оказалось, что в разные дни восстановления такие агенты действуют прямо противоположно. Так, экстракты из планарий, регенерировавших в течение одних, двух, трех и пяти суток, при введении другим планариям стимулировали вызванную у них регенерацию. Но если процесс длился четыре дня, экстракт, напротив, тормозил ее. Экстракты из планарий, содержавшие «факторы регенерации», которые стимулировали или тормозили регенерацию, в соответствующих опытах стимулировали или тормозили образование и сохранение условных рефлексов у неповрежденных планарий [7].

Когда сопоставили действие «факторов регенерации» планарий и чужеродного морфогенетического агента гидры, который был уже известен и структура которого была идентифицирована как полипептид [8], обнаружилось много общего. Результаты этих опытов побудили нас исследовать влияние некоторых регуляторных нейропептидов позвоночных (адренкортикотропного гормона, люлиберина, их фрагментов) на регенерацию планарий и образование у них памятного следа. В итоге была выделена группа морфогенетически активных нейропептидов, контролирующая регенерацию червей, а также их обучение и сохранение у них экспериментально выработанных рефлексов [9].

Вместо эпилога

Планарии остаются идеальным организмом для исследования клеточных механизмов морфогенеза именно за счет регенерационных способностей. Особое внимание исследователей привлекают к себе необласты — предшественники стволовых клеток позвоночных. В разных лабораториях мира в настоящее время возобновился интерес к планариям как к прекрасному модельному объекту. На них проводятся генетический анализ и микроструктурные работы с применением новейших методов, позволяющих, в частности, проследить судьбу маркированных необластов [10].

К сожалению, упомянутые современные работы направлены только на изучение клеточных и молекулярных основ морфогенеза. С планариями больше никто не связывает исследования механизмов памяти. Между тем существуют новые данные о поведении дифференцирующихся клеток и об активации разных генов в ходе регенерации нервных элементов. Использовать такие сведения в работе на простейших моделях обучения или одновременно изучать два важнейших явления (память и морфогенез), применяя новейшие подходы и методы, — такая блестящая и богатая научная перспектива!

Наши же исследования в настоящее время по объективным причинам прерваны. Но это уже совсем другая история... ■

Литература

1. McConnell J.V., Jacobson A.L., Kimble D.P. // J. Compar. and Physiol. Psychol. 1959. V.52. №1. P.1—5.
2. McConnell J.V. // J. Neurophysiol. 1962. V.3. Suppl.1. P.542—548.
3. Sheimann I.M., Sakbarova N.Yu. // Compar. Biochem. and Physiol. A. 1974. V.48. P.601—607.
4. Sakbarova N.Yu., Sheimann I.M. // Compar. Biochem. and Physiol. A. 1977. V.58. P.427—431.
5. Шейман И.М. Регуляторы морфогенеза и их адаптивная роль. М., 1984.
6. Шейман И.М., Ефимов И.А., Богоровская Г.И. // Онтогенез. 1971. Т.2. №4. С.411—418.
7. Тирас Х.П., Шейман И.М. // Онтогенез. 1981. Т.12. №6. С.635—643.
8. Schaller H.Cb. // Cell Differ. 1976. V.5. №1. P.1—11.
9. Шейман И.М., Тирас Х.П., Балобанова Э.Ф. // Физиол. журн. СССР. 1989. Т.75. №5. С.619—626.
10. Salo E., Baguna J. // J. Exp. Zool. 2002. V.292. P.528—539.

Портрет Земли из космоса

Глобальное радиотепловое поле

Н.М.Астафьева, М.Д.Раев, Е.А.Шарков

Климатическая система Земли формируется в результате сложных нелинейных взаимодействий взаимосвязанных геосфер планеты. В число последних входят атмосфера, океаносфера, криосфера, литосфера, поверхность континентов (а также их гидросфера и биосфера, а теперь уже и антропофера), а также взаимодействие между ними — это процессы обмена теплом, моментом движения и веществом, особенно влагой. От активности тепло-, влаго- и массообмена зависит планетарный круговорот энергии и вещества, и в итоге — та погода, с которой мы сталкиваемся каждый день. Система геосфер открытая, поэтому на формирование климата влияют внешние факторы: радиационные, приливные, гравитационные, электромагнитные и другие воздействия окружающего пространства.

Фундаментальную роль для эмпирической диагностики климата играют данные наблюдений, надежность их получения и адекватность интерпретации результатов анализа. С накоплением сведений наши представления о глобальной климатической системе и изменчивости климата меняются [1–3]. Чтобы выявить глобальные тренды, необходимо исследовать временной ход глобальных и полушарных значений геофизических (метеорологичес-



Наталья Михайловна Астафьева, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института космических исследований РАН. Лауреат премии Национального комитета по теоретической и прикладной механике РАН. Занимается исследованием изменчивости климата, общей циркуляции атмосферы, взаимодействия океана и атмосферы, турбулентности и гидродинамической устойчивости.

Михаил Дмитриевич Раев (слева), кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией моделирования и автоматизации того же института. Область научных интересов — радиофизика, статистическая радиофизика, обработка данных наблюдений, формирование и развитие геофизических мегабаз данных по дистанционным микроволновым наблюдениям.

Евгений Александрович Шарков, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом исследования Земли из космоса того же института, профессор кафедры космической физики Московского физико-технического института. Специалист в области дистанционного зондирования системы океан—атмосфера, моделирования глобального тропического циклогенеза, взаимодействия в системе океан—тропосфера—стратосфера—ионосфера.

ких, климатических) параметров. Уже ясно, что многие из них (такие, как приземная температура воздуха) характеризуются большой региональной изменчивостью. Например, подъем температуры в течение последней четверти прошлого столетия был четко выраженным на континентах Северного полушария зимой и весной. В то же время в некоторых регионах Южного полушария и в Антарктике наблюдалось небольшое круглогодичное похолодание.

Одна из основных задач климатических моделей — составление сценариев вероятных изменений климата в зависимости от тех или иных изменений в состоянии геосфер планеты, в частности атмосферы — требует для своего решения информации об этих изменениях. Процессы, влияющие на транспортные и диссипативные свойства атмосферы и, соответственно, на формирование климата, имеют большую пространственную протяженность, достаточно длительны и характеризуются сложной пространственно-временной структурой. Чтобы установить общие закономерности их эволюции, следует анализировать не результаты измерений тех или иных геофизических параметров в отдельных точках, а их глобальные распределения в виде полей. Для этого необходимо иметь данные наблюдений на больших временных и пространственных масштабах, с хорошей регулярностью и плотностью покрытия. Такую возможность могут дать лишь приборы, установленные на искусственных спутниках Земли.

Что такое дистанционное зондирование?

Большую часть сведений о мире мы получаем дистанционным образом, т.е. без непосредственного контакта с физическими объектами. В первую

очередь это относится к активно развивающимся в последние 40 лет аэрокосмическим исследованиям Земли и окружающего пространства, давшим принципиально новые знания о космосе и о нашей планете. Материальным носителем информации об объектах в космосе служит дальнедействующее электромагнитное поле. Под *дистанционным зондированием* понимается получение физической информации на расстоянии от исследуемого объекта при помощи целенаправленной обработки принятого электромагнитного поля, которое с ним провзаимодействовало.

В космических исследованиях используется практически весь спектр электромагнитных волн — от высокочастотных с очень короткими длинами волн гамма- и рентгеновского диапазонов до сверхнизкочастотных (с длинами волн до десятков и сотен километров). Дистанционное зондирование Земли ведется в *радио-, видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах*. Различные виды электромагнитного излучения возникают в ходе разнообразных процессов и совершенно по-разному взаимодействуют с земной атмосферой. Электромагнитное излучение, формируемое в радио-, видимом и инфракрасном диапазонах, получило название *теплового излучения*, поскольку его источник — внутренняя энергия вещества. Тепловое излучение непрерывно испускают все физические тела, имеющие температуры, отличные от абсолютного нуля.

Оптические наблюдения (в видимом диапазоне с длинами волн 0.40—0.76 мкм) регистрируют сложную комбинацию рассеянного и переизлученного объектом света. В *инфракрасном* диапазоне, простирающемся от красной границы видимого спектра до длин волн порядка 1000 мкм, часть излучения тоже связана с отражением. Поэтому в нем по специальным признакам отдельно выделяют *теп-*

вую область, где источником излучения оказывается само исследуемое физическое тело. Именно здесь заключена основная часть энергии теплового излучения (при учете, разумеется, тех температур, которые могут быть достигнуты в земных условиях).

Радиодиапазон подразделяется на *микроволновый* с длинами волн от 1 мм до 1 м и *радиоволновый* с длинами волн от 1 м до 10 км; радиоволны, помимо известных искусственных источников, испускаются плазменными и плазмоподобными средами — это излучение короны Солнца, магнитосферы и ионосферы Земли, а также результат грозовой активности в земной атмосфере.

По отношению к исследуемым объектам дистанционные методы подразделяются на *пассивные*, т.е. осуществляющие только прием (с помощью радиометров) электромагнитного поля, и на *активные*, когда излучается электромагнитное поле с заданными характеристиками (формой, амплитудой и фазой) и принимается отраженный от исследуемого объекта сигнал (характеристики которого несут информацию об объекте). К пассивным методам относятся радиотепловое и ИК-зондирование Земли и планет, а также все методы астрономических наблюдений. Активные дистанционные методы могут использоваться естественные и искусственные источники электромагнитного поля. В первом случае это прежде всего Солнце, «стандартный» источник «подсветки» в видимом диапазоне для освещаемой части земного шара. Часть этой электромагнитной энергии Солнца поглощается системой поверхность—атмосфера, переходит в тепло, а затем переизлучается, но уже совсем в других диапазонах длин волн — в ИК- и микроволновом. Искусственные источники обладают несомненным преимуществом — они работают независимо от времени суток и сезона, однако при этом на летательном аппарате

должны иметься достаточно мощные источники энергии.

Активными способами не может быть получено никакой информации о состоянии (физико-химии, давлении, температуре) газов в чистой атмосфере, поскольку рассеяние электромагнитных волн на молекулах газа крайне незначительно. Напротив, тепловое излучение обеспечивает поразительные по своей информативности данные о состоянии газовых сред на Земле, планетах (атмосферы) и в космосе (молекулярные облака, звездные атмосферы). Принципиальное значение теплового излучения в дистанционных и астрофизических приложениях обусловлено его достаточно прозрачной связью с внутренней термической структурой объекта и с его физико-химическими особенностями. В радиодиапазоне интенсивность излучения при каждой длине волны формально может быть представлена в виде «сво-

ей» температуры (называемой *радиояркой температурой*), количественные величины которой в целом ряде случаев просто пропорциональны значениям определенных физических величин. Это делает решение обратных задач дистанционного зондирования — нахождение интересующих нас величин по дистанционным данным — в случае радиодиапазона очень простым и физически наглядным (в отличие от оптического и ИК-диапазонов, где аналогичная операция весьма сложна и часто неоднозначна).

Собственное излучение Земли простирается от теплового ИК- до метрового радиодиапазона, причем оно весьма заметно отличается от идеального чернотельного, особенно в радиодиапазоне. Именно эти отличия несут важнейшую информацию о состоянии и характеристиках системы поверхность—атмосфера. В первую очередь они связаны с наличием

окон прозрачности (и, соответственно, полос непрозрачности) для электромагнитных волн, рис.1. Земная атмосфера имеет три окна прозрачности:

- видимое и близкое ИК-окно (с длинами волн от 0.3 до 1.0 мкм);

- тепловое ИК-окно (с длинами волн от 8 до 12 мкм);

- радиоокно (с длинами волн от 2.5 мм до 20—50 м).

Практически всю свою энергию Земля получает от Солнца в виде электромагнитного излучения, сосредоточенного в спектральном диапазоне 0.3—2.0 мкм (его часто называют коротковолновым). Меньшая его часть, около 30%, без существенного изменения спектра отражается облаками, океаном, сушией, остальная поглощается (~19% — атмосферными газами, ~51% — поверхностью Земли), перераспределяется ветрами и течениями, но в конечном итоге тоже излучается в космос в микроволновой части спектра.

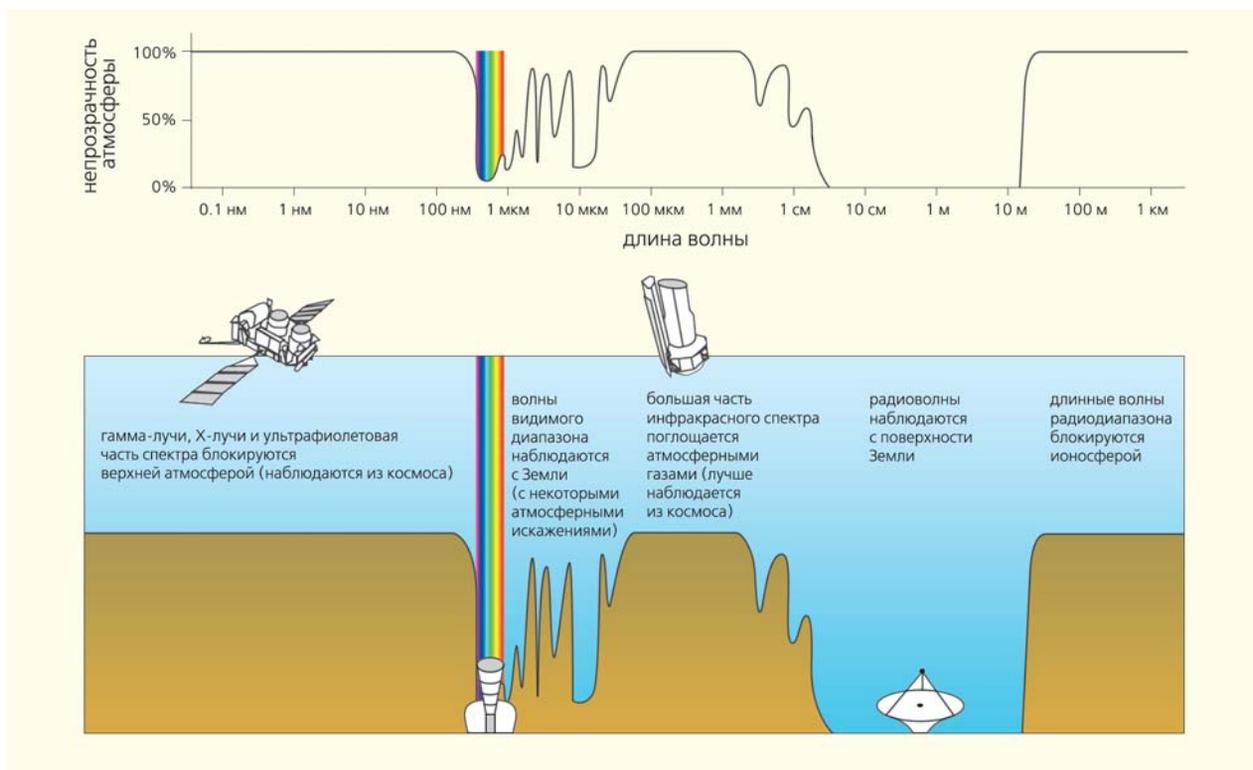


Рис.1. Степень непрозрачности атмосферы на длинах волн от долей нанометра до километра (вверху) и схема прохождения электромагнитных волн через атмосферу (на тех же длинах волн, внизу).

В итоге практически вся пришедшая солнечная радиация высвечивается обратно в тех или иных длинах волн. Это излучение в основном тепловое, его температура T_r называется радиационной. Из теплового баланса Земли следует, что она примерно равна 258 К. Излучает, однако, не сама земная поверхность (ее средняя температура $+15^\circ\text{C} = 288\text{ К}$), а атмосфера на той высоте, где ее температура примерно равна T_r ; эта же высота определяет верх тропосферы — тропопаузу. На фоновом тепловом спектре выделяются полосы, соответствующие полосам поглощения парниковых газов — малых газовых составляющих атмосферы (H_2O , CO_2 , O_3 , N_2O , CO , CH_4). Кроме того, это излучение пространственно неоднородно.

Коротковолновая граница радиоокна определяется поглощением молекул водяного пара и кислорода, длинноволновая

же граница — пропусканием ионосферы (плазменные процессы). Радиоокно обладает замечательной особенностью — излучение с длинами волн больше 1 см практически свободно проходит через облачный покров земной атмосферы. С учетом того факта, что облака в среднем закрывают 55% земной поверхности, это окно предоставляет единственную возможность «заглянуть» под облака и зафиксировать процессы, происходящие между облаками и поверхностью Земли и внутри облачных масс. Имея данные об излучении на разных частотах радиодиапазона (рис.2), можно делать выводы о составе и характеристиках газовой и облачной составляющих атмосферы.

Данные наблюдений за изменением геофизических параметров, и в частности данные дистанционного зондирования, обычно представлены в виде локальных (точечных) измерений

и гораздо реже — в форме полей пространственных и временных измерений, поскольку это сопряжено с большими техническими трудностями. Обеспечить глобальные наблюдения геофизических параметров в виде полей с достаточными пространственным разрешением, протяженностью и временной регулярностью в настоящее время могут лишь приборы, установленные на искусственных спутниках Земли. Современные ИК- и СВЧ*-радиометры регистрируют именно собственное излучение земных покровов, Мирового океана и атмосферы (в отличие от оптического диапазона, где принимается отраженное солнечное излучение). В последние годы накоплен определенный позитивный опыт использования спутниковой СВЧ- и ИК-радиометрии [4, 5] для анализа характеристик теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы.

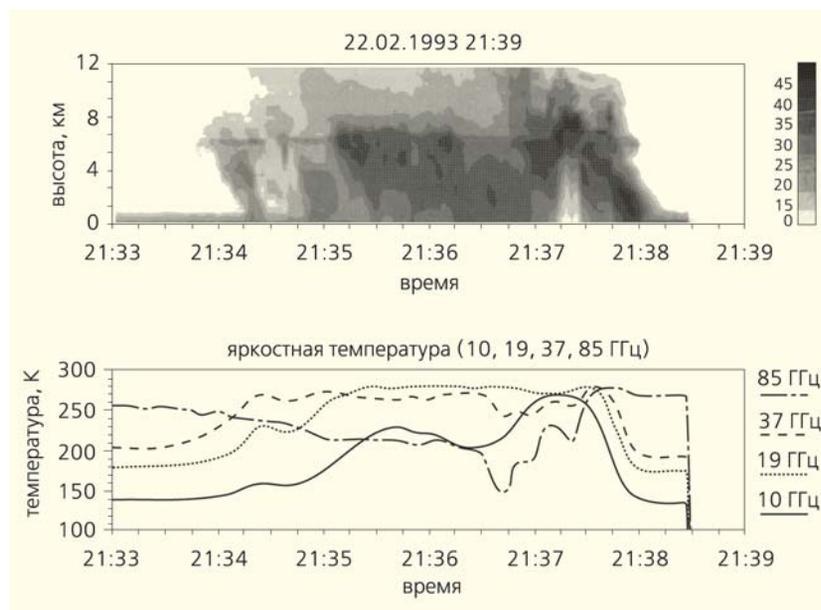


Рис.2. Поле обратно-рассеянного сигнала (в единицах измерений, которые пропорциональны количеству водных капель в единице объема) (вверху) и профили радиояркостной температуры на частотах 10, 19, 37 и 85 ГГц (внизу), полученные по данным самолетного радара ARMAR (Airborne Rain-Mapping Radar) и многочастотного радиотеплового самолетного комплекса AMPR (Advanced Microwave Precipitation Radiometer) при наблюдении тропического конвективного образования в период проведения международного эксперимента TOGA (22 февраля 1993 г.).

От фрагментов мозаики к общей картине

Получаемые с помощью космических аппаратов данные из-за специфики траекторий спутников и ограниченности полей зрения приборов оказываются фрагментарными (рис.3). Построение глобальных радиотепловых полей системы океан—атмосфера на их основе представляет собой довольно сложную проблему [6, 7]. Мы используем данные СВЧ-радиометрических приборов SSM/I (Special Sensor Microwave / Imager), установленных на космических аппаратах серии DMSP (Defense Meteorological Satellite Program; <http://dmsp.ngdc.noaa.gov/dmsp.html>).

Космические аппараты серии DMSP с радиометрическими приборами SSM/I на борту были запущены в рамках спутниковой метеорологической программы

* По современной терминологии — микроволновый диапазон.



Рис.3. Общий вид одного из спутников серии DMSP (схематически показана подспутниковая полоса сканирования на поверхности Земли).

министерства обороны США. Долговременный мониторинг Земли по программе DMSP имеет своей целью обеспечение вооруженных сил США глобальной метеорологической, океанографической и солнечно-геофизической оперативной информацией. Аппараты серии постоянно восполняются; сейчас принимается информация со спутников F10—F15.

В 1992 г. радиометрические данные программы DMSP были рассекречены и стали общедоступными. В настоящей статье используется информация, накопленная в сформированной нами и постоянно пополняемой электронной базе данных Института космических исследований [8], содержащей данные за 1995—2005 гг.

Семиканальные четырехчастотные СВЧ-радиометрические комплексы SSM/I принимают линейно поляризованное излучение на частотах 19.35, 22.24, 37.0 и 85.5 ГГц в режиме конусного сканирования (рис.4). Спутники серии DMSP имеют солнечно-синхронную, близкую к полярной низкую круговую орбиту; каждый спутник серии совершает 14.2 витка в сутки. Глобальное покрытие Земли осуществляется примерно за трое суток, неполное — за сутки. Подспутниковые дорожки повторяются приблизительно два

раза в месяц — каждые 16 суток. Ширина полосы обзора приборов составляет 1400 км, размер элемента разрешения на поверхности Земли зависит от диапазона прибора и широты и варьируется в пределах от 12.5 до 25 км. Общая погрешность определения координат элемента разрешения достигает 20—30 км и снижается до 5 км (иногда до двух) при использовании специальной коррекции.

Специфика траекторий аппаратов этой серии и полей зрения приборов, на них установленных, такова, что подспутниковые дорожки (области, с которых приборы принимают информацию) не полностью покрывают поверхность планеты за сутки. В результате покрытие оказывается чрезмерно густым на высоких широтах, но оставляет довольно большие пробелы (лакуны) на средних широтах и особенно в приэкваториальной области. Кроме того, возможна потеря информации из-за сбоя аппаратуры. Радиотепловые поля, построенные по данным одного из аппаратов примерно за сутки при прямом

и обратном проходах спутника, имеют вид, показанный на рис.5 (здесь и на следующих рисунках использована меркаторская проекция). Лакуны необходимо заполнять данными, что довольно сложно, если учесть, что спутники проходят над интересующими нас областями планеты в разное время и смотрят на них под разными углами, а процессы в атмосфере достаточно динамичны. Разработанные нами методики, основанные на межвитковом и кросс-аппаратном выравнивании и дополнении, позволили восполнить недостающую информацию и построить глобальные радиотепловые поля (два полных глобальных поля в сутки) по данным всех космических аппаратов F10—F15 серии DMSP.

Для построения глобального радиотеплового поля системы океан—атмосфера мы использовали измеренную радиояркостную температуру, пересчитанную на земную поверхность с шагом $0.5 \times 0.5^\circ$; пример можно видеть на рис.6. Изображение, как принято в дистанционной практике, представлено в так

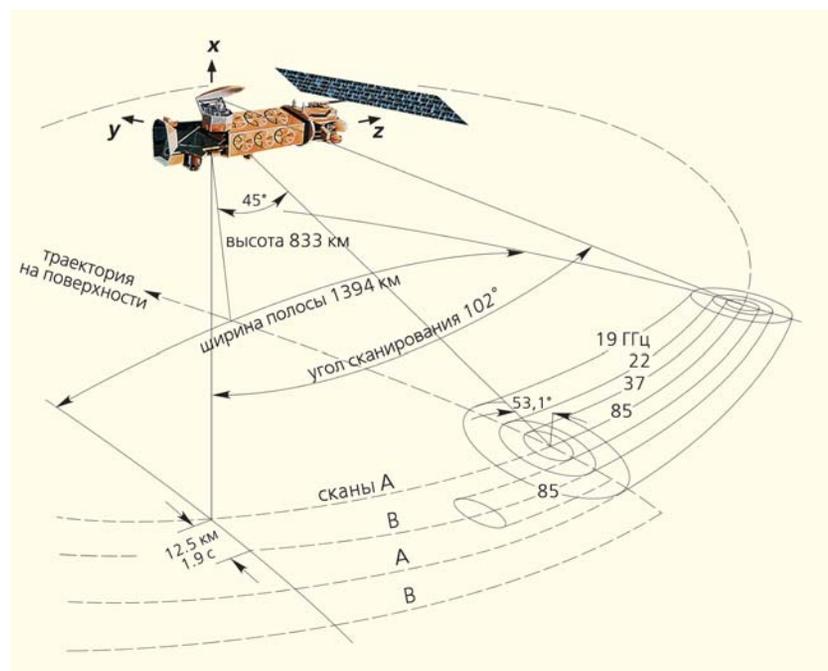


Рис.4. Подробная схема полосы сканирования многоканального радиометра SSM/I, установленного на спутниках серии DMSP.

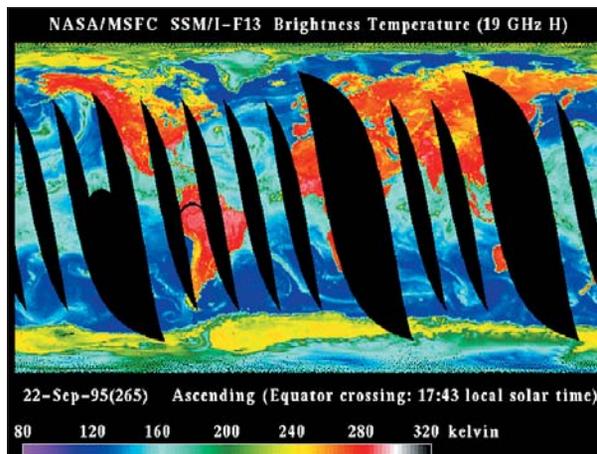
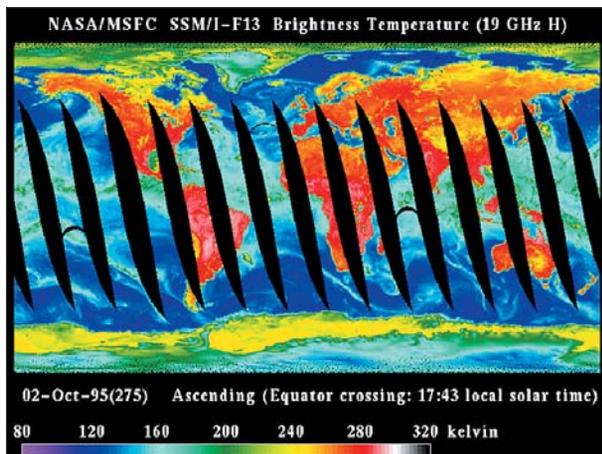


Рис.5. Типичные картины радиотеплового поля, построенные по данным одного из спутников метеорологической серии DMSP в течение суток, полученным на частоте 19.35 ГГц. Стандартные лакуны обусловлены особенностями траектории спутника (зачерненные области на картине слева); дополнительные лакуны, образовавшиеся вследствие сбоев в работе аппаратуры, можно видеть на картине справа, полученной в менее удачный день (они бывают и более обширными, чем показанные здесь).

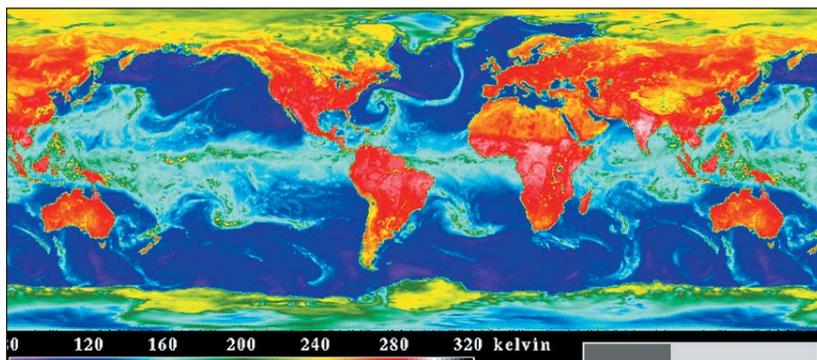


Рис.6. Глобальное радиотепловое поле системы океан—атмосфера на частоте 19.35 ГГц на основе данных, полученных 28 апреля 2001 г. В нижней части рисунка показана показана цветовая шкала радиояростной температуры в градусах Кельвина (на следующих рисунках цветовая палитра та же).

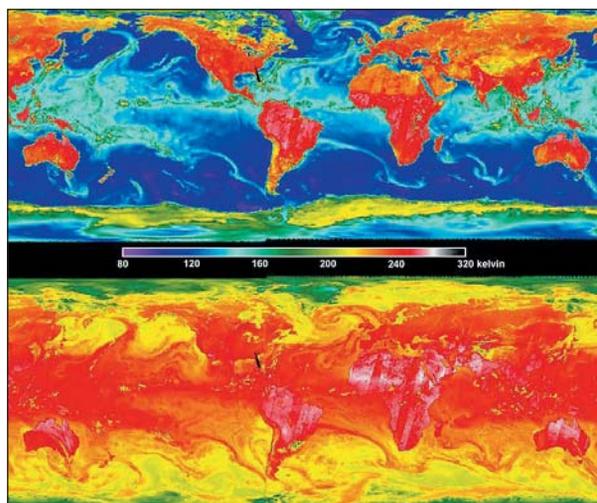
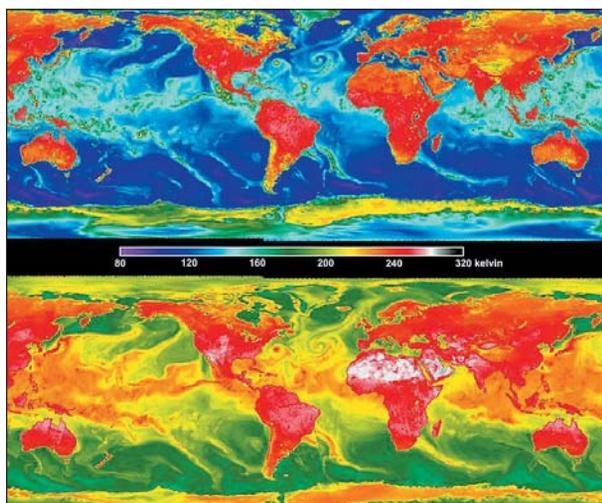


Рис.7. Кадры анимационного фильма: в кадре слева — данные, полученные на частотах 19.35 и 22.24 ГГц, справа — на частотах 19.35 и 85.5 ГГц, в середине каждого кадра показана цветовая шкала радиояростной температуры в градусах Кельвина.

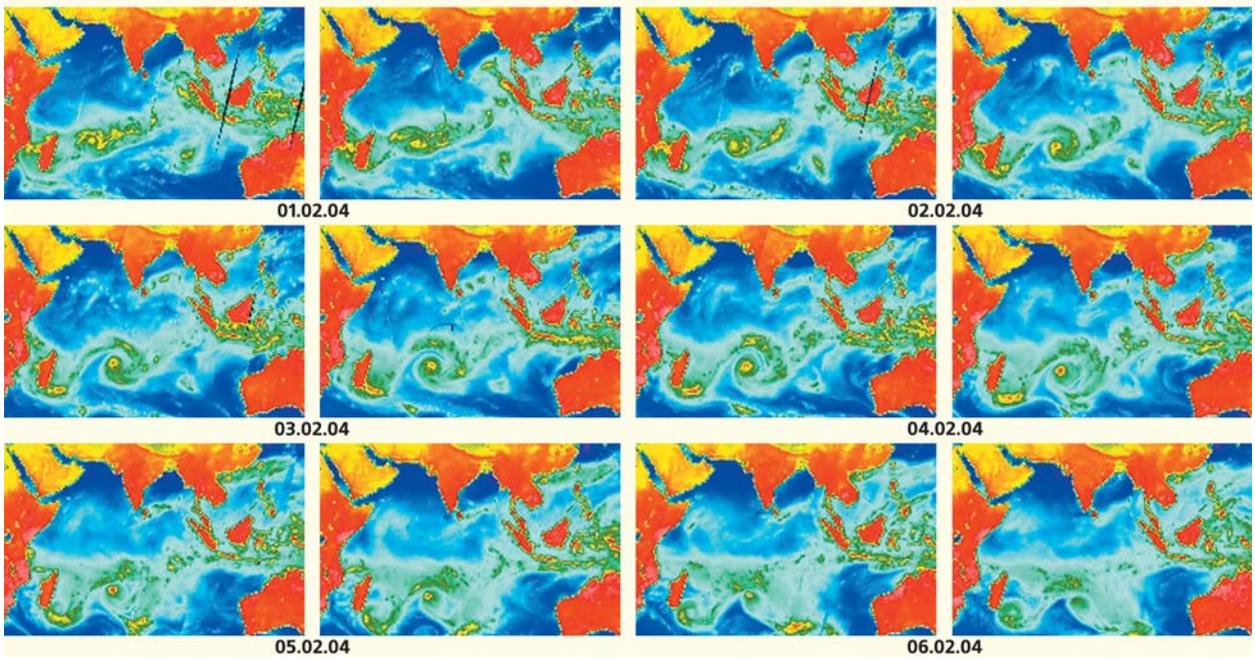
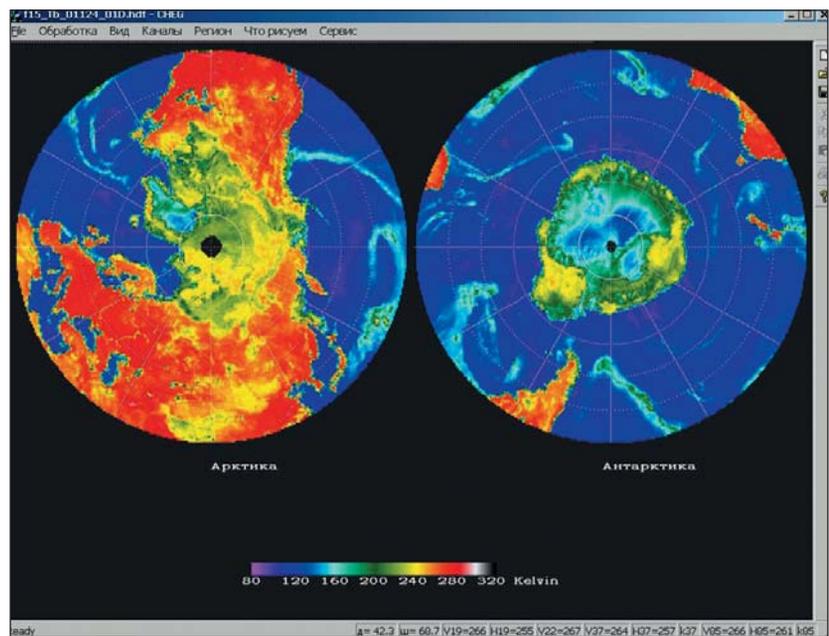


Рис. 8. Радиотепловое поле на частоте 19.35 ГГц, наблюдаемое над акваторией Индийского океана в период с 1 по 6 февраля 2004 г.

Рис. 9. Радиотепловое поле полярных областей Земли до шестидесятого градуса широты в полярных координатах на частоте 19.35 ГГц; в центре изображения — северный (слева) и южный полюс (справа).



называемых «ложных» цветах, т.е. в цветовой гамме, наиболее удобной для восприятия человеческим глазом. Для удобства разворот по экватору в 360° дополнен 120 градусами. Это дает возможность наблюдать структуру атмосферных процессов над акваторией каждого из океанов планеты полностью. Отметим, что даже в том масштабе, в котором дано глобальное поле

на рисунке, легко различаются квазистационарные крупномасштабные структуры системы океан—атмосфера.

Пространственно-временную динамику термодинамических атмосферных процессов можно наблюдать в серии анимационных фильмов, впервые созданных нами на основе полученных глобальных радиотепловых полей. Несколько ко-

ротких фрагментов представлены на сайте ИКИ РАН: на каждом кадре фильма показаны данные двух каналов — 19.35 ГГц (вверху) и 22.24 или 85.5 ГГц (внизу) с цветовой радиояркостной шкалой в градусах Кельвина между ними (рис.7). Анимация позволяет следить за процессами, происходящими в системе океан—атмосфера, в течение длительных отрезков времени

(до 10 лет, по два кадра в сутки) на масштабах от сотен километров до планетарных.

Построенные глобальные радиотепловые поля пригодны для дальнейшего анализа термодинамических процессов в атмосфере как глобальных, так и региональных. Для примера на следующих рисунках показаны радиотепловые поля в разных регионах земного шара. Над акваторией Индийского океана (рис.8) в начале весны Южного полушария в течение приблизительно шести суток сформировалась и распалась интенсивная вихревая структура, захватившая воздушные массы практически над всей южной частью океана. На изображении радиотеплового поля Антарктиды (рис.9) отчетливо видно: внутренние районы континента по своим излучательным свойствам похожи на поверхность океана. Эта «загадка» Антарктиды давно уже разгадана российскими учеными — такое резкое уменьшение радиояркостной температуры связано со сложной (причем иерархической) структурой глубоких слоев (до километра) глетчерного льда. Однако пространственно-временная эволюция этой громадной области остается пока нерешенной проблемой. И решить ее можно только с использованием радиотепловых микроволновых методов.

Что дают глобальные радиотепловые поля

Первые предложения об использовании микроволновых многочастотных (спектральных) методов для изучения теплообмена (полного потока) на морской поверхности были сделаны одним из авторов настоящей статьи в 1978 г. [9]. Дальнейшие исследования показали, что можно использовать и одночастотные радиотепловые методики, но при принципиально других пространственно-временных разрешениях [10].

Сейчас оценкам характеристик термодинамических процессов в системе океан—атмосфера на основе спутниковых радиометрических данных посвящено большое количество работ. Однако еще остается немало вопросов.

Среднеквадратичная погрешность определения среднемесячных потоков тепла на квадратах океана $2 \times 2^\circ$ или $5 \times 5^\circ$ по выборочным радиометрическим данным искусственных спутников Земли составляет приблизительно 10%, т.е. порядка $15\text{--}30 \text{ Вт/м}^2$ при максимальных среднемесячных значениях потоков тепла порядка $150\text{--}250 \text{ Вт/м}^2$. Среднемесячные значения температуры поверхности океана и ее сезонные вариации могут быть определены с использованием данных спутниковых СВЧ-радиометрических измерений с точностью $0.5\text{--}0.6^\circ\text{C}$. Может быть, такая точность и не слишком хороша для оперативных целей, но она представляет большой интерес для климатических исследований.

Радиометрические приборы SSM/I регистрируют излучение на четырех частотах, которое несет информацию о характеристиках разнообразных объектов:

- ♦ на частоте 19.35 ГГц (длина волны 1.58 см) — о видимой поверхности: континентах, Мировом океане, наиболее плотных облачных структурах (с жидкими осадками);
- ♦ на частоте 22.24 ГГц (длина волны 1.35 см) — об интегральном влагозапасе (водяной пар) тропосферы;
- ♦ на частоте 37.00 ГГц (длина волны 0.81 см) — о влагозапасе тропосферы и видимой поверхности;
- ♦ на частоте 85.50 ГГц (длина волны 0.35 см) — об интегральном влагозапасе облачных структур, включая жидкие и кристаллические осадки.

Данные каналов радиометров SSM/I могут быть использованы также для определения скорости ветра, динамики крупномас-

штабных вихревых и фронтальных структур, влагосодержания (интегрального) атмосферы над акваториями Мирового океана, влагозапаса отдельных облачных структур и зон интенсивного выпадения осадков, оценки потоков тепла и импульса.

Два качественно различающихся подхода применяются при использовании радиометрических спутниковых данных: опосредованный и прямой. При *опосредованном использовании* количественные климатические характеристики восстанавливаются по спутниковым данным на основе косвенных связей между интегральными (по высоте) радиометрическими измерениями в разных участках спектра и конкретными характеристиками (температура, влажность) или на основе полуэмпирических формул, например балк-формул, базирующихся на корреляционных связях между температурой и влажностью в разных слоях атмосферы. Следует отметить, что условия получения полуэмпирических формул ставят под сомнение их применение на синоптических масштабах и в областях больших градиентов (например, в зонах фронтов или циклонов). Возможно, для анализа изменчивости динамических процессов на синоптических масштабах такой подход годится не всегда, но на масштабах среднемесячных, сезонных и больших он вполне оправдан.

Прямое или непосредственное использование, все чаще практикуемое в последнее время, подразумевает, что в качестве характеристик теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы рассматриваются сами радиометрические спутниковые данные. Так, например, существует тесная связь между сезонной динамикой среднемесячных значений яркостной температуры и разностью температур поверхности океана и приводной атмосферы. В этом случае лучше использовать спутниковые данные вместо того,

чтобы отдельно измерять температуры поверхности океана и приводной атмосферы дистанционными методами и вычислять их разность, теряя точность. Действенность прямого подхода, что очень существенно, подтверждается не только на внутригодовых и больших временных масштабах, но и на синоптических масштабах в динамичных ситуациях (фронтальные зоны, циклоны и другие области больших градиентов), когда формализация самих процессов становится затруднительной.

Остановимся более подробно на возможностях использования полученных радиотепловых полей и связях радиояркостной температуры с характеристиками системы океан—атмосфера на двух частотах: 19.35 и 22.24 ГГц. Среди важнейших характеристик термодинамического режима климатической системы — облачность, влагосодержание атмосферы, температура поверхности океана [1, 3]. Эти параметры связаны с яркостной температурой в окне прозрачности на частоте 19.35 ГГц (1.58 см) и характеризуют видимую поверхность (поверхность плотных облачных структур, Мирового океана и суши).

Влияние Мирового океана на крупномасштабные термодинамические процессы и формирование климата планеты огромно. Из всей массы солнечной энергии атмосфера усваивает 27%, а поверхность Земли — 73%. До поверхности материков и поверхности Мирового океана излучение доходит в среднем одинаково, однако поглощается по-разному. Вода поглощает на 25–50% тепла больше, чем суша на тех же широтах. В результате Мировому океану достается в 4.4 раза больше суммарной энергии, чем суше. Кроме того, все тепло, накопленное сушей летом, расходуется зимой. Мировой океан получает основную часть солнечного тепла, накапливает его и перераспределяет

в своей толще, обеспечивая стабильность природных условий на планете. Задерживая излишки тепла и восполняя его расхождение, океаносфера смягчает климат планеты — например, в переносе тепла от экваториальных областей в полярные доли Мирового океана и атмосферы приблизительно равны.

В непосредственный теплообмен с атмосферой вовлечен лишь поверхностный тонкий слой Мирового океана толщиной 10–50 м. В нем содержится всего примерно 4% тепла, запасенного океаном. Однако доля этих четырех процентов в общем тепловом балансе планеты значительна — порядка 75%. Океан непрерывно поддерживает энергоснабжение атмосферы во всех масштабах: локальном, региональном и планетарном. Пространственно-временная структура и изменчивость этого энергоснабжения отражается на циркуляционных процессах в атмосфере и является важной составляющей климатической системы.

Температура поверхности океана определяется в основном атмосферными факторами и процессами двух типов в Мировом океане: внутренними (на глубинах до нескольких сотен метров) и процессами в поверхностном слое (толщиной 10–50 м). Разделить вклады этих факторов в изменчивость температуры поверхности океана в тех случаях, когда они действуют вместе, довольно трудно. Аномалии температуры поверхности океана, возникающие вследствие водных процессов теплообмена, не очень велики — до 1–3°C — на горизонтальных масштабах порядка десятков метров. Не более чем на несколько градусов изменяется и температура в тонком поверхностном слое океана вследствие крупномасштабного взаимодействия с атмосферой, но зато уже на масштабах 500–1000 км.

Точность получения значений яркостной температуры с помощью радиометров SSM/I

достаточна, чтобы использовать данные канала 19.35 ГГц для исследования крупномасштабной структуры полей температуры поверхности Мирового океана. Подробный анализ радиотепловых полей позволит продвинуться в понимании пространственно-временной динамики крупномасштабных процессов теплообмена между океаном и атмосферой.

С яркостной температурой в другой резонансной линии, резонансной линии излучения водяного пара на частоте 22.24 ГГц, тесно связано общее влагосодержание атмосферы — интегральный параметр, характеризующий процессы тепло- и влагообмена в системе в целом. В водяном паре в виде скрытого тепла сосредоточена значительная доля общего тепла климатической системы.

Анализ общего влагосодержания атмосферы оказывается продуктивным на разных временных масштабах. При сравнении среднемесячных значений замечены индивидуальные зависимости в разных физико-географических зонах и четко выраженные сезонные вариации. Для проблемы изменчивости климата представляет большой интерес изучение межгодовой изменчивости. На синоптических масштабах выявлена жесткая связь между вариациями общего влагосодержания атмосферы (спутниковые данные) и вариациями температуры и влажности приводного воздуха (метеорологические наземные измерения) [10]. Это показывает правомерность использования общего влагосодержания атмосферы, полученного при спутниковых СВЧ-радиометрических измерениях, для количественных оценок не только на внутригодовых (среднемесячных, сезонных) и больших (межгодовых) интервалах, но и на короткопериодных (синоптических).

Общее влагосодержание атмосферы обычно тесно связано с температурой и влажностью

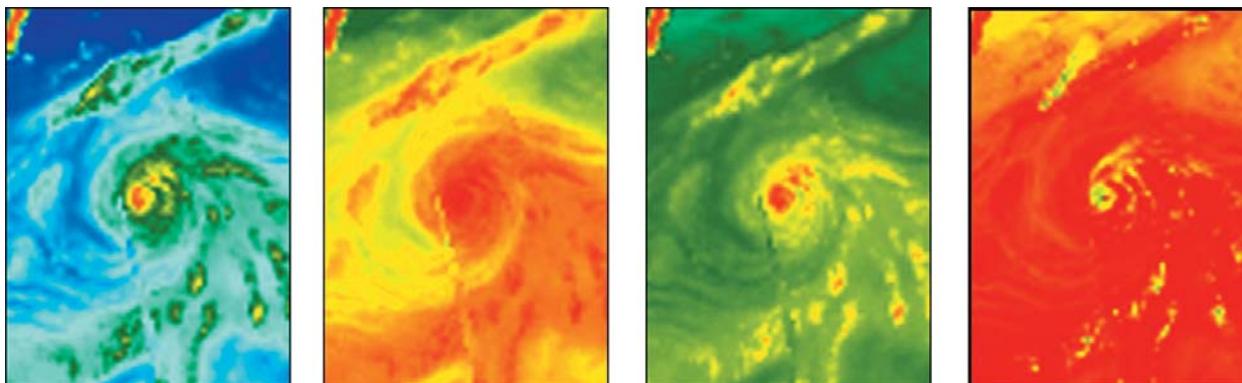


Рис. 10. Спутниковое изображение тропического циклона (ТЦ Podul N 0122) в северо-западной части Тихого океана, полученное 23 октября 2001 г. радиометрами SSM/I на разных частотах.

приводного слоя воздуха, но при резких процессах перестройки атмосферы (фронтальных или циклонических, например) оно запаздывает и следует

за изменениями приводных параметров воздуха с задержкой на несколько часов. Время адаптации температурных и влажностных характеристик системы

к внешнему притоку тепла оценивается примерно в сутки. Эти факты необходимо учитывать при исследовании короткопериодных процессов.

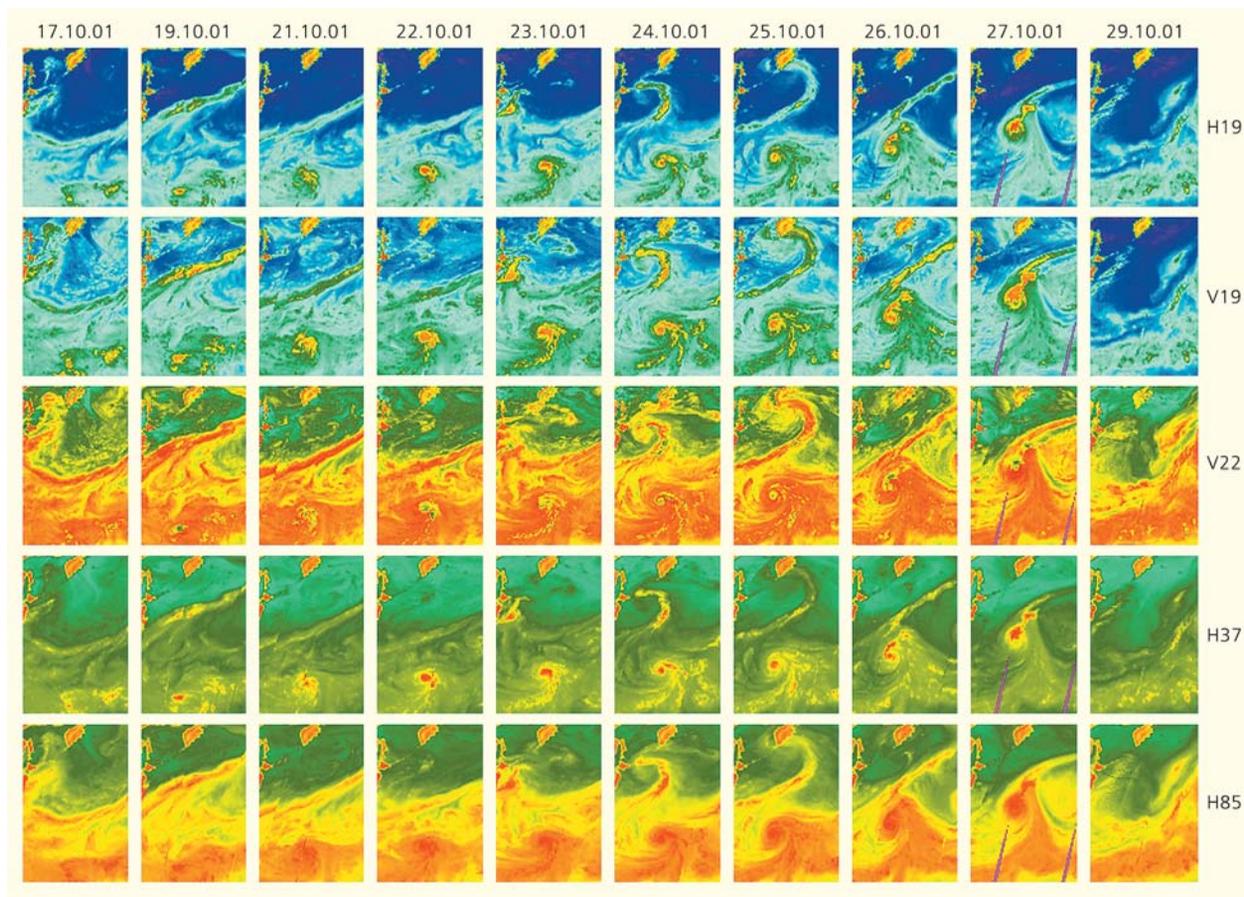


Рис. 11. Спутниковое изображение тропического циклона (ТЦ Podul N 0122) в северо-западной части Тихого океана в динамике (17–29 октября 2001 г.), полученное радиометрами SSM/I при вертикальной (V) и горизонтальной (H) поляризации на разных частотах (19.35, 22.24, 37.00 и 85.50 ГГц). На левом верхнем рисунке мозаики показаны координаты области.

Циклоническая деятельность тропической атмосферы — один из элементов глобального полярного переноса тепла из тропической зоны в более высокие широты, сглаживающего широтные градиенты тепла в атмосфере, которая основную долю тепла от Солнца получает в тропической зоне. Это своеобразный механизм сброса избыточного тепла в условиях, когда действия обычных механизмов (турбулентная конвекция и различные составляющие глобальной циркуляции атмосферы) оказывается недостаточно. На рис.10 приведена детальная картина крупномасштабного «выброса» поля водяного пара, привязанного к системе тропического циклона в северо-западной части Тихого океана (19—28 октября 2001 г.), из тропической зоны в средние широты. Сравнительный анализ изображений на разных частотах, т.е. вклада водяного пара, мелко- и крупнокапельных облачных систем и осадков в энергетический «выброс» тропичес-

кого циклона, показывает преобладающий вклад интегрального водяного пара. Выполнить подобные оценки по оптическим и ИК-данным не представляется возможным в принципе, поскольку дистанционная информация в этих частотных каналах «поступает» от относительно тонкого (от десятков до сотни метров) верхнего слоя облачных систем. Эволюция того же тропического циклона показана на следующей серии рисунков (рис.11) в частотных диапазонах, демонстрирующих видимую поверхность (поверхность океана, материков и наиболее плотных облачных структур), интегральное содержание водяного пара и интегральный влагозапас (пар, капли любого размера, кристаллы льда) в атмосфере.

* * *

По вполне понятным причинам геофизические данные в виде полей в достаточном объеме и с необходимым пространственно-временным разреше-

нием охватывают лишь несколько последних десятилетий. Однако и за это время накоплено значительное количество информации, ожидающей пока адекватной обработки с применением современных математических методов.

Глобальные радиотепловые поля построены нами с достаточно хорошей временной регулярностью и плотностью покрытия. Они пригодны для изучения термодинамических процессов в системе океан—атмосфера с масштабами от сотен километров до планетарных и изменяющихся на короткопериодных (синоптических мезометеорологических), внутрисуточных (среднемесячных, сезонных) и больших (межгодовых) временных масштабах. Анализ этих данных позволит продвинуться в понимании природы процессов энерго- и массообмена, приводящих к региональным и глобальным изменениям, а также к изменчивости климатической системы в целом. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 06-05-64276.

Литература

1. Кондратьев К.Я. // Исследование Земли из космоса. 2004. №2. С.61—96.
2. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. СПб., 1992.
3. Монин А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л., 1988.
4. Sharkov E.A. Passive microwave remote sensing of the Earth physical foundations. Berlin; L., 2003.
5. Шарков Е.А. Пассивное микроволновое зондирование Земли: прошлое, настоящее и планы на будущее // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса: Сборник науч. статей. М., 2004. С.70—80.
6. Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А. Глобальное радиотепловое поле системы океан—атмосфера // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса: Сборник науч. статей. Т.2. М., 2005. С.8—16.
7. Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А. Макроструктуры в системе океан—атмосфера // Тезисы докладов Международной конференции «Потоки и структуры в жидкости». МГУ им.М.В.Ломоносова. Москва, 20—23 июня 2005 г. М., С.174—176.
8. Ермаков Д.М., Раев М.Д., Сулов А.И., Шарков Е.А. Электронная база многолетних данных глобального радиотеплового поля системы океан—атмосфера в контексте задач исследования вариаций климата планеты и атмосферных катастроф // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса: Сборник науч. статей. Т.2. М., 2005. С.17—22.
9. Шарков Е.А. // Радиотехника и электроника. 1978. Т.23. №3. С.655—658.
10. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Взаимосвязь радиоизлучения системы океан—атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела. М., 2004.

Сад в Стране души

С.М.Бебия



Главный вход в Сухумский ботанический сад.

В Сухуме – столице Абхазии, или Апсны (Страны души), как называют ее местные жители, – расположены одни из старейших в Европе ботанический сад (165 лет) и субтропический дендропарк (110 лет), относящиеся к Институту ботаники Академии наук Абхазии. Царство экзотических растений, собранных в Сухумском ботаническом саду со всего мира несколькими поколениями ученых, очарует не только обычного посетителя. Флористическое разнообразие и богатство коллекций, а также научное наследие выдающихся исследователей (от Карла Линнея до современников), чьи труды хранятся в уникальной по собранию литературы библиотеке, не оставит равнодушным и самого искушенного ботаника.

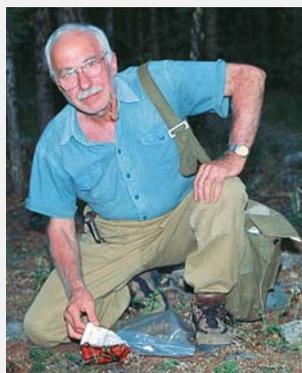
В истории Сухумского ботанического сада, как и дендропарка, которому была посвящена отдельная статья в «Природе» (2002. № 9. С. 33–41.), немало трагического. Особенно он пострадал во время грузино-абхазского конфликта 1992–1993 гг., когда были полностью разрушены фондовые оранжереи, погибла коллекция тропических растений и т.д. В послевоенные годы из-за тяжелой экономической ситуации многие сотрудники покинули ботанический сад, остались лишь энтузиасты (Т.А.Гулянян, Е.В.Лакоба, И.Д.Папазян, З.И.Адзинба и другие преданные делу люди), приступившие к восстановлению утраченной части коллекций. Налаживается исследовательская работа, возобновились экспедиции и научное сотрудничество с другими ботаническими учреждениями и, что очень важно, началась подготовка новых кадров: на базе Института ботаники открыта кафедра лесного хозяйства и ботаники биолого-географического факультета Абхазского государственного университета, где сотрудники института читают лекции студентам. В них будущее и надежда на то, что Институт ботаники со всеми его структурами станет не только частью истории развития отечественной ботанической науки, хранителем бесценного научного наследия многих поколений ученых, но и национальным достоянием и гордостью, вновь будет притягивать внимание и научный интерес ботаников всего мира.

От первых посадок платана

Абхазия — составная часть Колхидской ботанико-географической провинции, одного из мощнейших рефугиумов Северного полушария. Она охватывает весь амфитеатр гор от Туапсе до Трабзона, обращенный к восточной части Черного моря. Особенности рельефа и влажный, теплый приморский климат создают здесь условия для развития богатой реликтовой, эндемичной флоры и уникальных растительных сообществ. На этой территории сложилась своеобразная система природных комплексов, нигде более в мире не встречающихся и издавна вызывающих интерес ученых разных стран.

Первые ботанические исследования и сборы на территории Абхазии проводил еще в 1829 г. французский путешественник Ж.С.Дюмон-Дюрвиль. Однако истинным открывателем флоры нашего края можно считать Н.М.Альбова: за девять лет (1885—1894) он обследовал наиболее интересные в ботаническом отношении, порой труднодоступные места и собрал обширный гербарный материал. На его основе Альбов составил «Материалы для флоры Колхиды», где впервые описано около 1,5 тыс. видов растений, среди которых более 1,1 тыс. — абхазских, в том числе много новых для науки и немало эндемичных. К примеру, на хребте Арабика Альбов обнаружил и описал очень редкий, реликтовый и эндемичный вид — колокольчик удивительный, который впоследствии ботаники назовут царицей флоры Абхазии, а в 1978 г. внесут в списки Красной книги СССР.

Хотя флора Абхазии весьма разнообразна (по современным оценкам, около 2 тыс. видов), тем не менее она чрезвычайно бедна пищевыми и вечнозелеными древесными растениями.



Сергей Михайлович Бебия, доктор биологических наук, директор Института ботаники Академии наук Абхазии (Сухум), заведующий кафедрой лесного хозяйства и ботаники биолого-географического факультета Абхазского государственного университета. Область научных интересов — история и география горных лесов Евразии, динамика растительных сообществ, дендрология, систематика и интродукция растений.

Живущие здесь люди всегда нуждались в более широком ассортименте полезных растений, и решить эту проблему можно было лишь их завозом из других регионов.

С древних времен Абхазия привлекала к себе многочисленных торговцев, колонистов. В средние века по ее территории проходили ответвления знаменитого торгово-караванного «Шелкового пути». Греки, турки, римляне, арабы, генуэзцы, венецианцы в разное время основывали здесь цветущие колонии. Во главе всех колониальных городов стояла великая Диоскурия — нынешний Сухум. Благодаря иноземцам в Абхазии появлялись новые виды и сорта растений. В подтверждение тому в с.Ачандара обнаружен 300-летний платан восточный с диаметром ствола более 2 м. Однако активная интродукция полезных растений началась со времени основания в Сухуме ботанического сада.

В начале 30-х годов XIX в. лекарь Сухумского военного гарнизона В.Багриновский, обладавший некоторыми познаниями в ботанике, разбил возле своего дома сад. На прекрасно ухоженный уголок диковинных растений и цветов обратил внимание начальник Черноморской линии укрепления генерал Н.Н.Раевский (сын прославленного героя Отечественной войны 1812 г.). При его содействии

сад Багриновского в 1840 г. перешел в ведение военного ведомства под названием «Сухум-Кальский военно-ботанический сад». С этого года отсчитывается его официальная история.

Раевский был близко знаком с известными ботаниками того времени, которые активно помогали в устройстве сухумского сада. Ф.Б.Фишер и Н.А.Гартвис (директора Санкт-Петербургского и Никитского ботанических садов) участвовали в его планировке и разбивке, определяли растения, снабжали семенами и саженцами, подбирали нужную литературу, присылали российские и зарубежные садовые каталоги.

Раевский стремился не только пополнить коллекции сухумского сада новыми для Абхазии полезными растениями, но и обеспечить саженцами военные крепости на всем Черноморском побережье Кавказа. Привозил и распространял среди населения новые плодовые и ягодные культуры, обучал абхазцев хлебопашеству, виноградарству, выдавал им лучшие сорта винограда, в том числе «Изабеллу» из своего крымского имения. В 1842 г. в Сухумском ботаническом саду были высажены первые кусты чая, которые прислал из Ялты Гартвис. В конце 30-х годов прошлого столетия чай был введен в культуру для промышленного возделывания, а в конце 80-х стал ведущей



Н.Н.Раевский (1801—1843).

сельскохозяйственной культурой влажных субтропиков. В Абхазии заготавливалось свыше 200 тыс. т чайного листа, была создана мощная техническая база для переработки и выпуска готовой продукции.

В 1894 г. из стран Южной Америки и Средиземноморья П.Е.Татаринев привез 45 видов агав, 49 видов пальм, 150 видов хвойных и другие субтропические растения. В 1912 г. впервые в Европе в открытом грунте была выращена виктория регия — водное растение семейства кувшинковых с крупными, сквородообразными листьями до 1,5 м в диаметре. Все наиболее важные результаты исследований Сухумского ботанического сада отражались в регулярно издаваемых с 1904 г. по 1915 г. отчетах под редакцией В.В.Марковича.

В 1926—1940 гг. большое внимание развитию ботанического сада уделял Н.И.Вавилов, помогавший в обогащении коллекций и организовавший Сухумскую опытную станцию Всесоюзного института растениеводства. Другие значительные перемены связаны с визитом в конце 30-х годов президента Академии наук СССР В.Л.Комарова и его участием в разработ-

ке мероприятий по улучшению и развитию деятельности Сухумского ботанического сада. В то время ему была передана территория бывшей дачи Н.Н.Смецкого (120 га со вспомогательными сооружениями), увеличилась экспериментальная база, существенно повысился уровень научных исследований, расширились коллекционный фонд и тематика исследований.

Началось более глубокое изучение растительных ресурсов мира, сотрудники отправились в экспедиции во все районы Абхазии, на Дальний Восток, в Среднюю Азию, Китай, Японию, Тайвань, страны Европы, обменивались литературой и семенами со 120 странами мира, участвовали в международных конгрессах, конференциях, симпозиумах. Продукция Сухумского ботанического сада экспонировалась на выставках в разных странах и получала золотые, серебряные и бронзовые медали на ВДНХ, в Эрфурте (ГДР), Оломоуце (ЧССР).

Существенно вырос коллекционный фонд открытого грунта, оранжерейных и водных растений. Ботаники сада (В.С.Яброва-Колаковская, Т.А.Чочуа, Г.Г.Айба, А.Ф.Плевако, Т.Н.Турчинская) вывели новые сорта цветочных культур (хризантем, ирисов, роз, лилейников и др.), за что получено более 20 сортовых свидетельств Госкомиссии СССР. Был подобран ассортимент декоративных и цветочных культур для озеленения населенных пунктов Абхазии.

Большое внимание уделялось исследованию болезней и вредителей растений открытого и закрытого грунта. В.Н.Вашадзе, К.Н.Джалагония выявили на территории Абхазии 250 видов паразитических грибов, на которые была составлена полная характеристика с описанием внешних симптомов поражения.

Начатые еще до основания сада исследования растительного мира Абхазии продолжили выдающиеся ботаники XX в. Так, Ю.Н.Воронов, хорошо знав-

ший историю изучения местной флоры [1], подготовил рукопись «Флора Абхазии», в которой описал более 1,4 тыс. видов, но, к сожалению, этот труд так и не был опубликован. Первая четырехтомная сводка под тем же названием была издана только в 1940-х годах, а в 80-х была дополнена и переиздана [2]. Огромная заслуга в этом принадлежит А.А.Колаковскому и его сотрудникам — В.С.Яброва-Колаковской, Е.М.Шенгелия, З.И.Адзинбе и др. О достижениях этих и других ученых Сухумского ботанического сада можно судить по их публикациям [3—7], вошедшим в такие фундаментальные сборники, как «Дендрофлора Кавказа», «Деревья и кустарники СССР» и др. Еще в 1987 г. Адзинба на основе анализа географии и экотопологии эндемичной флоры Колхиды установил, что ее эндемичное ядро находится в Абхазии. Этот важный вывод позволил автору в дальнейшем разработать совершенно новый подход к обособлению выделений охраняемых территорий природных экосистем [8].

В конце 80-х годов Сухумский ботанический сад входил в первую десятку научно-исследовательских учреждений страны [9]. Всемирную известность ему принесли исследования по различным направлениям ботанической науки (флористике и дендрологии, гео- и палеоботанике, лесоведению и лесоводству, интродукции и охране растений), которые отражены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях, в том числе в «Трудах Сухумского ботанического сада» (издано более 30-ти выпусков).

Исследования по флористике и систематике немислимы без гербарного материала. В результате многолетних экспедиционных работ несколькими поколениями ученых создан уникальный гербарный фонд колхидской флоры, который включен в Международный гербарный фонд (Нью-Йорк).



Рододендрон понтийский — реликтовый вид до 5 м высотой. В Абхазии образует густой подлесок от берега моря до субальпийского пояса. На врезке — цветущие побеги рододендронов понтийского и желтого.

Здесь и далее фото автора



По палеоботаническим исследованиям Сухумский ботанический сад был головным на Кавказе. Особое внимание уделялось изучению третичной и четвертичной флорам Абхазии. Огромную роль в этих исследованиях сыграли ботаники А.А.Колаковский, А.К.Шакрыл, П.Е.Рухадзе и др. Во время раскопок в Очамчирском, Гулрипшском, Сухумском, Гудаутском р-нах найдены ценнейшие образцы ископаемых остатков растений. Из них около 40% составляют виды, которые прежде не встречались в ископаемых флорах не только Кавказа, но и всего мира [10, 11]. Основ-

ная же часть находок — виды, растущие и поныне в Китае, Японии, Северной Америке и на Дальнем Востоке. Это — представители семейств (сосновых, таксодиевых, лавровых, буковых) и родов (камелия, магнолия, гинкго, вечнозеленых дубов и др.), которые в Колхиде исчезли в ледниковом периоде. Многие из этих «живых ископаемых» успешно реинтродуцированы в Сухумском ботаническом саду, куда они были завезены из дальних регионов их местообитания.

Работа в Сухумском ботаническом саду не прекращалась даже в самые кризисные време-

на — Крымской войны (1853—1856), нашествия в Абхазию турок (1876—1877), последующих войн и революций. Однако ни с чем не сравним ущерб (материальный и духовный), нанесенный ему войной 1992—1993 гг., длившейся 411 дней и практически парализовавшей деятельность сада. Существенно сократились коллекции растений (в частности, погибло более 800 тропических видов и форм), полностью разрушены многие сооружения, в том числе питомники и фондовые оранжереи, угнан весь автотранспорт и т.д. Пострадало хранилище уникальных палеоботанических

образцов, которые высоко ценят ботаники во всем мире.

Во время объявленной Абхазии послевоенной блокады, когда не выплачивалась даже заработная плата, многие научные сотрудники и рабочие ушли в поисках средств к существованию. Тем не менее сразу после войны начались восстановительные работы. В 1994 г. был организован Институт ботаники Академии наук Абхазии, куда в настоящее время помимо ботанического сада входят еще субтропический дендропарк и экспериментальный питомник.

Безусловно, пока рано говорить о восстановлении всех довоенных структур ботанического сада и научных исследований в полном объеме. Однако основные отделы и научные направления как фундаментальные, так и прикладные, сохранены. Уже работают отделы флоры и растительности, интродукции, дендрологии, цветоводства, группа по оранжерейным и водным растениям и защите растений от вредителей и болезней.

В последние годы организованы важные экспедиции не только на территории Абхазии и Западного Кавказа (З.И.Аджинба, С.М.Читанова, А.Н.Коскин, Е.Ф.Джакония), но и на о.Тайвань, в Японию и Горный Алтай [12]. Эти поездки позволили пополнить гербарий и живую коллекцию сада сотней видов древесных растений, в том числе такими новыми и уникальными, как клен мелкопильчатый, ясень тайваньский (единственный в роде вид с вечнозелеными листьями), сосна тайваньская и др. Возобновляются утраченные связи с другими ботаническими учреждениями: заключены договоры о научном сотрудничестве с Главным ботаническим садом им. Н.В.Цицина РАН (Москва) и Международным центром дендрологической документации (Будапешт).

Налаживается издательская деятельность. Среди публикаций последних лет особое внимание заслуживает фундамен-

тальная работа, основанная на многолетнем изучении флоры и растительности горных систем Абхазии, Колхиды, Кавказа и всей планеты [13]. В этой книге пересмотрено общепринятое флористическое районирование Земли и предложено выделение новой средиземноморной флористической области. Это поистине одно из крупнейших открытий 20-го столетия в классической ботанике.

В основе другой монографии — 30-летнее исследование горных темнохвойных лесов Евразии, позволившее раскрыть закономерности лесообразовательных процессов пихтовых лесов Кавказа, одного из древних, сложных реликтовых лесных сообществ [14]. В прошлом году издана полная флористическая сводка, где даны сведения о 3,5 тыс. видов растений, произрастающих в пределах всей Колхиды, включая и турецкую часть [15].

В октябре текущего года в Институте ботаники АНА запланирована международная научная конференция «Сохранение биоразнообразия растений в природе и при интродукции», которая организована совместно с Международным советом ботанических садов по охране растений (BGCI) и его российским отделением при поддержке Советов ботанических садов России, Украины и Ассоциации ботанических садов Белоруссии. В 2000 г. в нашем институте уже проходила подобная конференция, приуроченная к 160-летию Сухумского ботанического сада. Тогда коллеги из разных стран были не только потрясены увиденными разрушениями — последствиями войны, но и восхищены огромной восстановительной работой, которую выполнили наши сотрудники. Думаю, не будут они разочарованы и на этот раз, вступив на территорию парка ботанического сада в центре г.Сухум, 2500-летие со дня основания которого Абхазия готовится отмечать в 2008 г.

В царстве реликтов и эндемиков

Живая коллекция растений — гордость любого ботанического учреждения. В парке Сухумского ботанического сада (25 га, демонстрационная часть — 5 га) растет более тысячи видов и культиваров древесных растений [16]. Наиболее полно представлены местные реликты и эндемики, но немало и выходцев из Юго-Восточной Азии, Северной Америки, Средиземноморья и Австралии.

Сразу за величественной колоннадой главных ворот на фоне цветочных клумб расположилась два сферической формы смолосемянника разнолистного, уроженца Западного Китая. За центральной рабаткой — саргавник поникающий, пестролистная форма туи складчатой, кедр атласский, банан японский и другие редкие экзотические растения, окружающие высеченный из камня памятник первому председателю ЦИК Абхазской АССР Н.А.Лакобе. Нестор Аполлонович — почитаемый в Абхазии человек, пытавшийся противостоять сталинским репрессиям, в 1936 г. объявлен «врагом народа» и погиб; пострадала и вся его семья (растреляны даже дети).

Рядом растут плодовые (мушмула японская и фейхоа, или акка Селлова) и технические культуры (сальное дерево, из семян которого получают так называемое китайское растительное сало для изготовления свечей и мыла, и гуттаперченое дерево — эвкоммия вязолистная), а также два вида дуба (иволистный и северный).

Здесь же можно увидеть пихту кавказскую — высокое стройное хвойное дерево, реликт и эндемик Кавказа. В Абхазии это дерево-долгожитель (доживает до 600—700 лет) образует самые высокопроизводительные древостой в Европе. Впервые описал этот вид в 1835 г. А.Д.Нордманн — известный ботаник, профессор Ришельевского лицея

в Одессе, один из первых исследователей флоры Западного Закавказья. Впоследствии пихта кавказская была переименована в пихту Нордманна.

В нашем саду растет не только довольно обычная на Черноморском побережье Кавказа лагерстремия индийская (в обиходе называемая индийской сиренью), но и другой, более редкий вид — лагерстремия ребристая. Крупные соцветия из малиновых, сиреневых, розовых цветков с гофрированными лепестками распускаются в середине лета и издали напоминают цветущую сирень. К зиме стволы лагерстремии оголяются, поскольку она сбрасывает не только листву, но и верхний слой коры.

Над лагерстремией нависает раскидистая крона крупного камфорного лавра, а рядом растут группами высокая тонкоствольная китайская веерная пальма — шершавоплодник высокий. Всего в открытом грунте культивируется 15 видов пальм, в том числе и весьма уникальные — ливистона китайская и рапидофиллум ежеиглистый.

Слева от главной аллеи выстроились в ряд пальмы еще одного вида — бутии головчатой, за которыми видны клен дланевидный, лоропеталлум китайский, сикопсис китайский, калоцедрус сбежистый (речной кедр), лжетсуга Мензиеза. Здесь же раскинул ветви со скученными плодами-коробочками красивотычинник ланцетный — высокий (до 2 м) кустарник родом из Австралии.

В саду собрано 10 видов магнолий, самые привлекательные из них — голая и Суланжа, у которых крупные тюльпаноподобные цветы. Растут они справа от главной аллеи в компании с другими красивоцветущими растениями: коллечениями (крестовидная и несчастная) родом из субтропических районов Южной Америки, миртом обыкновенным, райвезией китайской, азиминой трехлопастной (плодовым деревом семейства аноновых), кордилиной южной,



Памятник Н.А.Лакобе (1893—1936).

грабинником восточным (необычайно крупным для вида), дзельквой граболистной.

Более 100 видов кавказских эндемичных растений размещено на кавказской горке. На ее вершине растут два вечнозеленых вида семейства вересковых — земляничное дерево красное и эрика древовидная. Их родина Средиземноморье, в Абхазии же в естественных условиях они встречаются только в Пицундо-Мюссерском заповеднике.

На другой горке, расположенной в конце главной аллеи, собрана коллекция засухоустойчивых растений, в основном суккулентов — агавы, юкки, синеголовники и др. Слева от них растут кипарисовик горохоплодный, ель колючая, калоцедрус крупночешуйчатый, а справа — туевик струговидный с пестрой белесоватой хвоей, аукуба японская с золотисто-пятнистыми листьями и криптомерия японская (причудливое хвойное дерево с длинными тонкими побегами). Здесь же растут кустарники декоративной айвы — хеномелиса прекрасного. На зад-

нем плане размещены молодые посадки очень редких на Черноморском побережье Кавказа древесных растений: тайвании криптомериевидной и багрянолистника японского (эндемики островов Тайвань и Хоккайдо соответственно).

Севернее горки выделяются рослые деревья двух видов — гинкго двулопастный с раскидистой кроной и ель обыкновенная со свисающими длинными мзеевидными ветвями. Правее растут лапина крылоплодная (эндемик Колхиды) и вечнозеленый дуб сизый. Между ними приютилось невысокое хвойное дерево тсуги китайской, очень редкого вида на Черноморском побережье Кавказа.

С двух сторон от небольшой плантации окультуренного чая китайского растут ежегодно плодоносящие деревья маслины европейской с мелкими серебристыми вечнозелеными листьями. В Абхазии маслина введена в культуру более 100 лет; большая плантация находится на территории монастыря в Новом Афоне.



Цветки фейхоа Селлова (вверху), красотычинника ланцетного (в центре) и магнолии Суланжа (гибрида двух раннецветущих японских видов магнолий — обнаженной и лилиецветковой).

Повернув направо по широкой аллее веерных пальм, слева и справа от дорожки можно увидеть небольшие похожие на пальму растения. Но это не пальма, а саговник отклоненный — древнейший представитель голосеменных Японии и Китая. Это теплолюбивое растение нуждается в укрытии на зиму.

Пальмовая аллея заканчивается зеленой аркой из трахелоспермума жасминовидного с мелкими, звездчатыми, белыми, очень душистыми цветками. Не доходя до зеленой арки, дорожка сворачивает влево, где с одной стороны растет небольшое причудливое деревцо с широкой зонтиковидной кроной — клен дланевидный, а с другой — молодые посадки клена мелкопильчатого и куннингамии Кониша. Оба вида — эндемики о. Тайвань, редко встречающиеся в парках и садах мира за пределами ареала. В нескольких метрах от них произрастает высокое дерево другого вида — куннингамия ланцетная, родом из Китая. В ботаническом саду представлено около 40 видов и культиваров рода клен, в их числе вечнозеленый клен бело-пурпурный, также эндемик Тайваня.

Далее дорожка ведет к четырем бассейнам с водными растениями. В ближайшем из них культивируются гибридные сорта зимостойких нимфей — кувшинки, цветущие с мая до наступления первых заморозков.

Слева от нимфейного бассейна произрастает мужской экземпляр одного из древнейших представителей хвойных — араукарии узколистной, или бразильской. Это двудомное растение со своеобразными канделябровидными ветками с широкими жесткими хвоинками. В естественных условиях встречается в горных лесах на юге Бразилии. Округлые женские шишки араукарии содержат крупные съедобные семена. В Абхазии она успешно акклиматизировалась, дает естественный самосев. Саженыцы этого вы-



У лотосного и нимфейного бассейнов. На дальнем плане — орнаментальная пальма родом с Канарских о-вов. В Абхазии растет успешно (дает обильный самосев, широко используется в озеленении), однако вне субтропического климата ее разводят лишь как комнатное растение.



Виктория regia — королева водных растений — погибла во время грузино-абхазского конфликта 1992—1993 гг. и к настоящему времени не восстановлена.



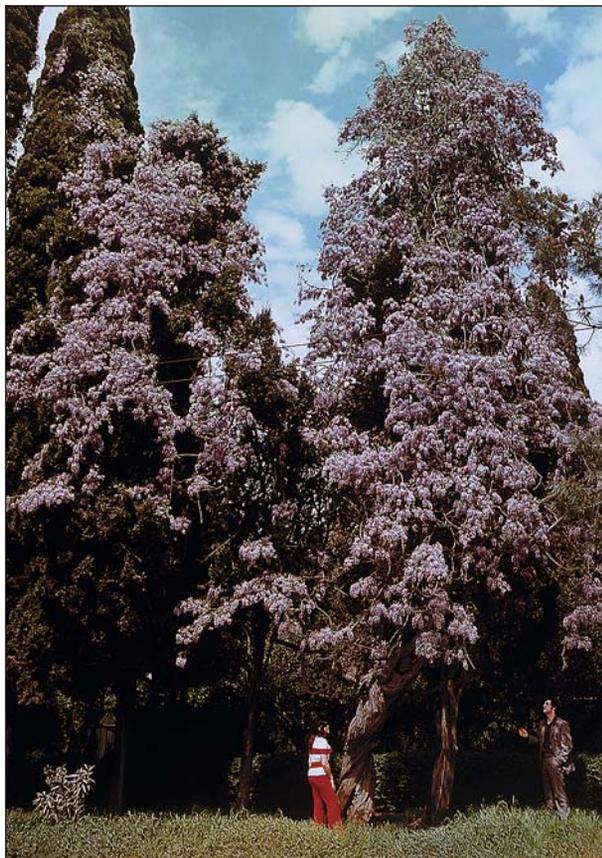
соко декоративного растения пользуются большим спросом на Черноморском побережье Кавказа. В глубине куртины 17 растут также кизил головчатый, или клубничное дерево, родом из Гималаев, можжевельник виргинский, михелия буроватая, клен граболистный, вишня мелкопильчатая, гардения жасминовидная, клен дланевидный.

Справа от нимфейного бассейна выделяется крупный экземпляр магнолии звездчатой со снежно-белыми цветками,

которые распускаются еще до появления листьев. На заднем плане растут: крупный эвкалипт пепельно-серый, сапиндус Друммонда и эреция лецинолистная.

Пройдя мимо клумбы, окаймленной самшитовым бордюром, с большим фиником канарским в центре, и свернув направо по пальмовой аллее хамеропса низкого, можно выйти к двум большим прямоугольным бассейнам. В них демонстрируются кувшинки с белыми, розовыми, желтыми

цветками, пантедерия ланцетная, циперус зонтичный, лотос орехоносный и водоплавающий гиацинт (эйхорния). В самом большом бассейне до войны 1992—1993 гг. содержались гигантские тропические кувшинки двух видов — виктории Круса и regia. Особенно хороши они были в пору цветения, когда появлялись крупные (до 30 см в диаметре) бутоны с красновато-бурыми чашелистиками. Цветки распускались лишь к вечеру, утром следующего дня наполовину



Глициния китайская, взбирающаяся на деревья до 20 м высоты, — одна из наиболее красивых лиан, с фиолетовыми, фиолетово-голубыми, иногда белыми или розовыми цветками в поникающих кистях до 0.4 м длины. В Абхазии широко используется в озеленении.



Метасеквойя глиптостробусовая — уникальное, веткопадное, очень ценное лесное и декоративное дерево, впервые обнаруженное в Западном Китае в 1941 г.

закрывались и оставались в таком состоянии до вечера.

Слева от бассейнов размещена коллекция цитрусовых растений и дуб сизый с широкой, округлой кроной. Справа — молодые посадки персеи приятнейшей, или авокадо, родом из Мексики, а также высокие деревья кедра гималайского, коричник Лоурейра из Вьетнама, квилая мыльная из Чили, а также дуб черный с оригинальными ланцетными листьями. На берегу прямоугольного бассейна с викториями каждое лето экспонируется мимоза стыдливая. Пальчато-сложные листья этого невысокого (до 0.5 м) с колючими стеблями полукустарника из тропической Америки покрыты чувствительными волосками и

быстро складываются, если к ним прикоснуться. Разводят мимозу стыдливую из семян в оранжереях и комнатах как однолетнее растение.

На демонстрационном участке круглогодичного цветения собраны цветочные растения, рекомендуемые для широкого внедрения: агпантусы, лилейники, хризантемы, лучшие сорта канн, ирисов, сальвия разных окрасок, блещия, лилии и др. Некоторые из сортов этих растений выведены научными сотрудниками ботанического сада.

Обогнув бассейны, идем к началу узкой аллеи китайских веерных пальм. Здесь на углу разбит небольшой рокарий, где высажены оригинальные папоротники и некоторые цветоч-

ные растения. Справа от аллеи, на куртине 26, виден мощный эвкалипт лимонный, листья и побеги которого содержат эфирное масло, включающее 0.9% альдегида цитронелала, что придает им запах лимона. Из примерно 90 видов эвкалипта (а всего их около 600 видов, и все они родом из Австралии и Тасмании) ученым в Абхазии удалось акклиматизировать лишь несколько. Все они широко используются в зеленом строительстве, лесных полезных посадках, из листьев и мелких побегов получают высокоценное эвкалиптовое масло. Рядом с эвкалиптом растет софора японская, также ценное декоративное и лекарственное растение.



Единственная в Европе аллея из юбеи чилийской — высокой (до 18 м, диаметр ствола до 1.5 м) пальмы из Южной Америки.



Аллея из банана японского — многолетнего травянистого растения с оригинальными соцветиями и несъедобными плодами.

Слева от аллеи на свободном пространстве растет ель обыкновенная со свисающими тонкими длинными малоразветвленными боковыми ветвями — один из лучших экземпляров среди хвойных декоративных форм.

Пальмовая аллея приводит к круглому бассейну, где можно полюбоваться крупными (до 18 см диаметра) ярко-розовыми цветами лотоса орехоносного, который в природе встречается в Восточной и Южной Азии, в дельте р. Волги. К северу от лотосного бассейна, на куртине 28, растет одна из наиболее красиво цветущих вишен — вишня мелкопильчатая, а также акация чернодревесная. За ними видна группа высоко декоративных видов сосен (ладанная, Сабина, Роксбурга, или длиннохвойная гималайская), а также относящаяся к тому же семейству кетелеерия Форчуна с мелкой (до 3 см) темно-зеленой хвоей. Всего в ботаническом саду выращено еще 12 видов сосен.

Повернув за кетелеерией налево, пройдем мимо ряда ногоплодника крупнолистного и

групп деревьев разных форм кипарисовика горохоплодного, а затем подойдем к крупному дереву с мощной раскидистой кроной — каркасу китайскому. Чуть правее его заметно огороженное дерево — сумах лаконосный, или ядовитое дерево. Сок листьев и других частей этого китайского дерева ядовит и может вызвать сильные ожоги. Теперь повернем на восток, на 33 куртину, и осмотрим молодые посадки редких видов клена и столь же редкого на Черноморском побережье Кавказа вида приземистого хвойного кустарника — микриобиоты перекрестнопарной родом с Дальнего Востока.

Пройдя тенистую аллею бамбука серого, с правой стороны можно осмотреть группу сосен: Тунберга, Валлиха, алепской, а также реликта третичной флоры Абхазии сосны пицундской. Естественная крупная роща этой сосны сохранилась на Пицундском мысе. На этой же куртине произрастают редкие виды смолосемянника (непальский, Ральфи, немногочетковый).

В центре ботанического сада, на отдельной площадке, стоит 300-летняя липа кавказская с диаметром ствола 2.8 м и кроны — 25 м, которая росла здесь еще до основания сада и была свидетельницей многих исторических событий. Напротив нее возвышается еще один великан — пальма юбея чилийская, или замечательная, которую также называют слоновой и медовой. Рядом растет другая высокая, но с менее толстым стволом пальма вашингтония нитеносная. Привлекает внимание и новозеландский лен — многолетнее травянистое волокнистое, весьма декоративное растение из семейства лилейных.

Далее на куртинах к северу от липы можно ознакомиться с несколькими представителями древних флор — метасеквойей и гинкго. Метасеквойя глипостробусовая, или тайвания, — веткопадное очень ценное быстрорастущее дерево, которое в 1941 г. описал ботаник Микки по ископаемым материалам верхнего плейстоцена в Японии. Однако палеоботаники ее рано похоронили. Спустя несколько лет

в живом состоянии она была обнаружена в лесах Западного Китая. В 1944 г. ее впервые ввели в культуру, и теперь она встречается в парках и садах многих стран мира. В Сухумском ботаническом саду тайвания была посажена трехлетним саженцем в 1957 г. Теперь она достигает 34-метровой высоты и 136 см в диаметре ствола — это самый высокий экземпляр в мире за пределами ареала. Гинкго двухлопастный также родом из Китая. Это двудомное дерево с оригинальными веерообразными листьями считается ценным декоративным и лекарственным растением.

Весной радует посетителей богатой гаммой окраски цветов коллекция сортов рододендрона индийского, высаженных слева и справа от бетонного мостика через речку Сухумку. Поблизости высятся большие деревья кипарисов лузитанского и аризонского, сосны приморской, ели обыкновенной. Рядом с ними секвойя вечнозеленая — гигант растительного мира, родом из Северной Америки, где в возрасте более 1000 лет достигает 110 м в высоту и 16 м

в диаметре. Здесь же растет крупный экземпляр еще одного представителя гигантских хвойных деревьев мира — болотный кипарис, который также родом из Северной Америки, где он вырастает до 90 м в высоту и 6 м в диаметре.

Пройдя дальше к замыкающей сад кольцевой дорожке, следует обратить внимание на рододендрон Унгерна — реликт третичного периода и эндемик Аджарии. В саду растет единственный экземпляр этого очень декоративного вечнозеленого кустарника с крупными обратнойцевидными листьями и беловойлочным опушением молодых побегов.

Подходя к северной границе парка и поворачивая налево к югу, можно осмотреть большое хвойное дерево — жетсугу Мензиеза, ликвидамбры (смолоносный и восточный) и каштан конский обыкновенный.

Справа от дорожки видны кусты камелии японской с кожистыми блестящими листьями. В нашей коллекции более 40 ее сортов, которые цветут с конца зимы до начала лета; цветки всевозможных окрасок, но без за-

паха. Приятным запахом обладают цветки камелии горной, которая тоже культивируется в саду. В глубине куртины растут реликты Абхазии — бук восточный, граб кавказский и самшит колхидский.

Возвращаясь по прямой магистральной дороге к выходу, с правой стороны можно ознакомиться с молодыми посадками смолосемянников, кельрейтерией дваждыперистой, тисом головчатым Форчуна, с разными видами кипариса (аризонского, гималайского, траурного), магнолией крупноцветковой, османтусом Форчуна, фирмианой платанолистной, криптомерией японской, буком лесным, бархатом Лавалея, калиной лавролистной.

Безусловно, это беглая и захватывающая экскурсия по Сухумскому ботаническому саду не позволяет охватить все разнообразие видов, форм, сортов и культиваров экзотических растений коллекции. Но если эта статья вызовет интерес и желание воочию ознакомиться с уникальным собранием представителей мировой флоры, это будет лучшей наградой его создателям. ■

Литература

1. Воронов Ю.Н. Итоги изучения флоры Абхазии за 100 лет. Вып.1. Сухум, 1925. С.1—21.
2. Колаковский А.А. Флора Абхазии. Т.IV. Тбилиси, 1986.
3. Колаковский А.А. Растительный мир Колхиды. М., 1961.
4. Колаковский А.А. Колокольчики Кавказа. Тбилиси, 1991.
5. Колаковский А.А. Семейство колокольчиковых. М., 1995.
6. Растительность Пицундо-Мюссерского заповедника. М., 1987.
7. Васильев А.В. Флора деревьев и кустарников субтропиков Западной Грузии // Труды Сухумского ботанического сада. Т.XII. 1959. С.4—160.
8. Адзинба З.И. Краткая история изучения флоры Абхазии // Юбилейная международная конференция, посвященная 160-летию Сухумского ботанического сада. Сухум, 2003. С.25—35.
9. Лапин П.И. Ботанические сады СССР. М., 1984.
10. Каталог ископаемых растений Кавказа Т.2. / Ред. А.А.Колаковский. Тбилиси, 1980.
11. Айба Г.Г. Сухумский ботанический сад — старейший центр ботанических исследований на Кавказе // Юбилейная международная конференция, посвященная 160-летию Сухумского ботанического сада. Сухум, 2003. С. 8—19.
12. Бебия С.М. По степям и лесам Горного Алтая // Природа. 2003. №8. С.24—42.
13. Колаковский А.А. Средиземногорная область — арена эволюции умеренной флоры Северного полушария. Сухум, 2002.
14. Бебия С.М. Пихтовые леса Кавказа. М., 2002*.
15. Читанова С.М. Конспект флоры Колхиды. Сухум, 2005.
16. Бебия С.М. Сухумский ботанический сад Института ботаники АНА. Сергиев Посад, 2005.

* Эта работа в 2005 г. была удостоена Государственной премии по науке им.А.Г.Дзидзария. — Примеч. ред.

Стронций-бариевые карбонатиты на Мурунском массиве

Е.И.Воробьев,

кандидат геолого-минералогических наук
Институт геохимии им.А.П.Виноградова СО РАН
Иркутск

Данное сообщение посвящается памяти академика Льва Владимировича Таусона, основателя сибирской школы геохимиков, в связи с приближающейся в 2007 г. датой его 90-летия. Он неустанно утверждал, что основное дело геохимии — развитие геологического поиска вплоть до открытия месторождений «на кончике пера» (его любимая формулировка). Лев Владимирович организовал первую мою поездку на Мурунский массив (Бодайбинский р-н, Иркутская обл.) и проявлял большой интерес к ее результатам.

Главной задачей мировой геологической производственной отрасли и науки остается постоянное расширение минерально-сырьевой базы за счет увеличения запасов разрабатываемых руд и обнаружения новых месторождений. А как сверхзадача — выявление новых типов руд и новых видов минерального сырья, которые в мировой практике появляются приблизительно один—три раза в десятилетие. Среди особо выдающихся примеров можно указать новые урановые руды месторождений «типа несогласия» (Канада, Австралия) с очень высокими содержаниями урана; золотые руды «типа

Карлин» (США) с высокими технико-экономическими параметрами; месторождение нового самоцветного сырья — чароита (Россия).

Особый интерес представляет обнаружение подобных объектов не случайно, как это бывает зачастую, а в результате использования современных способов поисковой геологии. Таким уникальным геологическим объектом являются стронций-бариевые карбонатиты, спрогнозированные и открытые в 1978 г. на Мурунском сиенитовом массиве.

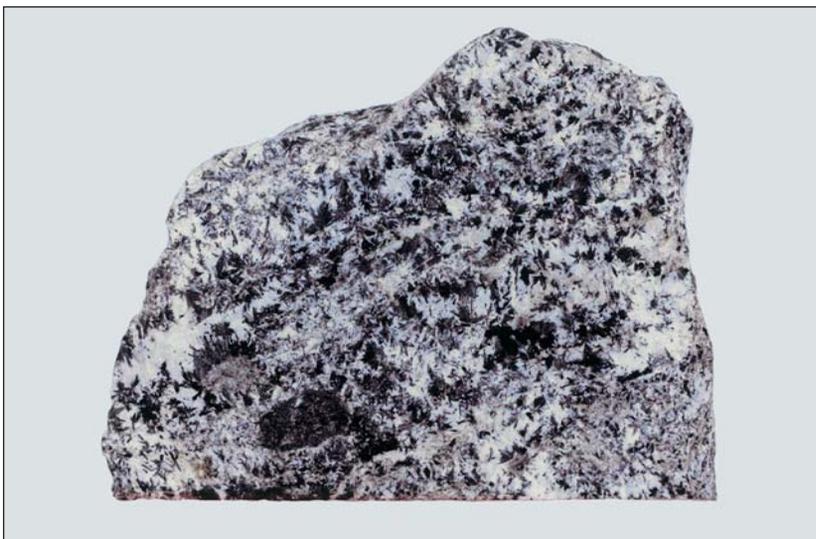
Первое промышленное месторождение таких карбонатитов было уверенно спрогнозировано по геохимическим особенностям кальцита (CaCO_3) из чароитовой породы [1] на основании результатов анализа единственной (0.5 г) пробы: кальцит явно карбонатитового типа, следовательно, в районе должны быть карбонатиты, специализированные на стронций и особенно на барий. Чароитовые породы генетически тесно связаны с карбонатитами, а потому надо ожидать их пространственной близости. Этот прогноз полностью подтвердился. Поиск карбонатитов занял даже не дни, а часы. Вначале на проявлении чароитовых пород — участке Коренном — были найдены кальцитовые карбонатиты

(с чароитом). Затем исследовали самое малозначительное проявление чароита на участке Южном. Здесь в виде делювиальных (склоновых) глыбовых свалов распространены пироксенкальцишпатовые фениты (метасоматические околокарбонатитовые породы). Именно в них обнаружили прожилки и жилы карбонатитов с необычно высоким удельным весом. В нескольких точках разобрали глыбы фенитов, под ними нашли обломки и даже коренные выходы сплошного карбонатитового тела. Так впервые на Алданском щите были открыты карбонатиты мезозойского возраста [2] и появилось первое месторождение стронций-бариевых карбонатитов.

Вначале мы их называли «бенстонитовыми» карбонатитами, поскольку по минеральному и химическому составу они оказались близки бенстонитовым карбонатитам, выделенным ранее Е.И.Семеновым в Индии на массиве Джогипатти (штат Тамилнаду). Там они развиты в виде единичных маломощных прожилков, представляющих только минералогический интерес. Однако детальное изучение мурунских карбонатитов и индийских образцов, любезно предоставленных Семеновым, показало их существенное отличие. В конечном итоге был вы-



Карбонатный прожилок (продукты распада протокарбоната-1) пересекает пироксен-калишпатовые фениты. Размер образца 12×7 см. Здесь и далее фото автора



Типичный образец стронций-бариевого пироксен-калишпатового карбоната с неясно полосчатой текстурой. Размер образца 17×12 см.



Чароитсодержащий прожилок с пиритом пересекает пироксен-калишпатовый карбонатит. Размер образца 14×5 см. Из коллекции Н.В.Владыкина.

делен новый тип карбонатитов — стронций-бариевый [3], в котором мурунские и индийские представляют две особые разновидности. Они приняты в качестве эталона данного типа карбонатитов.

Геологический и научный феномен

Главная особенность стронций-бариевых карбонатитов, определившая их название, — состав основного породообразующего карбонатного материала (60—95 вес.%). Он отличается аномально высокими содержаниями стронция и особенно бария (сумма масс их оксидов почти вдвое превышает сумму всех остальных катионов).

Это — массивные мезо- и лейкократовые породы с необычно высоким удельным весом, характерной крупно- или гигантозернистой структурой и грубой полосчато-сетчатой текстурой. Минеральный состав их относительно простой. Породообразующий материал — белая или слегка желтоватая карбонатная масса, а в качестве второстепенных примесей — калиевый полевой шпат ($KAlSi_3O_8$) и пироксен $(Ca, Mg, Fe)[Si_2O_6]$. Акцессорные (редкие) минералы представлены титанитом ($CaTiSiO_4O$), галенитом (PbS), халькопиритом ($CuFeS_2$) и апатитом $Ca_5[PO_4](F, Cl, OH)$. Комплекс специальных исследований показал, что это впервые встреченная в природе сложная многофазовая система $CaCO_3 + BaCO_3 + SrCO_3$, по-видимому, бывшая гомогенной в момент кристаллизации и претерпевшая глубокий распад (распад твердого раствора) в ходе посткристаллизационного охлаждения, но при этом ее валовый химический состав практически не изменился. Мы попытались восстановить составы исходных протокарбонатитов на момент их кристаллизации из карбонатитового расплава. Среди них вы-

деляются первичные, сформировавшиеся при кристаллизации карбонатитов, и вторичные, появившиеся на начальных этапах распада первичных и представляющие собой, по сути, промежуточные продукты их распада. Минералы первой группы различались по составу в зависимости от геологического положения — в главном карбонатитовом теле (на его контакте с вмещающими породами или в центральной части) или в маломощных прожилках. Те и другие — новые, ранее не встречавшиеся минералы, претерпевшие уже в твердом состоянии полную деструкцию в ходе посткристаллизационного охлаждения — минералы-призраки. Правда, официальное их утверждение в данном качестве проблематично. Среди них превалирует протокарбонат-1 (ПКМ-1, см. табл.) — первичная фаза (минерал) основного тела стронций-бариевых карбонатитов. Он, по всей видимости, обладал структурой кальцитового типа и представлял собой твердый раствор $\text{CaCO}_3 + \text{BaCO}_3 + \text{SrCO}_3$. Дело в том, что стронцианит (SrCO_3) при температурах 912–955°C, а виверит (BaCO_3) при 799–816°C меняют свою обычную ромбическую структуру на тригональную структуру разупорядоченного кальцита. Это и определяет возможность возникновения неограниченного твердого раствора $\text{CaCO}_3 + \text{BaCO}_3 + \text{SrCO}_3$ (т.е. наших протокарбонатов) при температуре выше 850°C, когда структуры новообразованных фаз аналогичны структуре кальцита, а при охлаждении происходит распад твердого раствора. Характер такого распада, а соответственно и появление разнообразных промежуточных и конечных продуктов, определяется в значительной степени динамикой посткристаллизационного охлаждения, которая в свою очередь зависит от геологического строения карбонатитового тела. На периферии, где скорость охлаждения на

Таблица

Химический и молекулярный состав карбонатного субстрата стронций-бариевых карбонатитов

Компоненты	ПКМ-1	ПКМ-КТ	ПКМ-МХ	ПКМ-1\2	ПКИ-1
Химический состав, вес.%					
CaO	25.60	18.85	25.45	22.60	24.18
SrO	10.75	13.25	7.50	10.54	4.50
BaO	31.67	36.15	32.55	33.03	32.68
FeO	0.08	0.02	0.02	—	—
MnO	0.02	0.05	0.05	0.02	0.02
CO ₂	31.51	31.27	32.90	32.20	33.52
Сумма	99.51	99.67	98.51	98.39	99.25*
Молекулярный состав, мол.%					
CaCO ₃	59.50	48.0	61.40	56.0	62.70
SrCO ₃	13.50	18.30	9.80	14.10	6.30
BaCO ₃	26.90	33.70	28.70	29.90	31.0

* В сумму дополнительно входят содержания в %: MgO — 0.5, Fe₂O₃ — 0.34, Na₂O — 0.33, K₂O — 0.01, REE₂O₃ — 1.27, P₂O₅ — 0.29, п.п.п — 1.03. ПКМ-1 — первичный протокарбонат главного тела мурунских карбонатитов; ПКМ-КТ — тот же протокарбонат на контакте с вмещающими породами; ПКМ-МХ — тот же протокарбонат в мелких жильных телах карбонатитов; ПКМ-1\2 — вторичный протокарбонат, образующийся на первом этапе распада первичного протокарбоната ПКМ-1; ПКИ-1 — протокарбонат бенстонитовых карбонатитов Индии (массив Джогипатти).

контакте с «холодными» вмещающими породами максимальна, преобладает так называемый спиноидальный распад (имеющий структуру типа ткани «твид»), т.е. происходит своего рода закалка породы. Для карбонатитов такой распад установлен впервые. Ранее подобные структуры наблюдались в металлах, лунном грунте, полевых шпатах эффузивных горных пород и др.

В центральной части карбонатитового тела, где скорость охлаждения минимальна, происходил классический последовательный многоступенчатый распад с минимальным количеством сохранившихся реликтов промежуточных продуктов. Во всех случаях в конечном результате наблюдается трехминеральный парагенезис: кальцит, стронцианит, баритокальцит (с преобладанием последнего). В качестве реликтов промежуточных фаз распада отмечаются десятки разновидностей вторичных протокарбонатитов, кальцита, стронцианита, баритокальцита, Sr-виверита [4]. Мы наблюдали все многообразие твердофазовых минеральных

преобразований природной системы $\text{CaCO}_3 + \text{BaCO}_3 + \text{SrCO}_3$. Здесь особенно ярко подтверждается то, что распад твердых растворов — особый способ минералообразования, приводящий зачастую к нетривиальным результатам. Наши исследования индийских образцов бенстонитовых карбонатитов показали, что у них более сложный состав: $\text{CaCO}_3 + \text{BaCO}_3 + \text{SrCO}_3 + \text{MgCO}_3 + \text{REE}_2(\text{CO}_3)_3$, следовательно, их карбонатный материал, представленный продуктами распада первичного протокарбоната, существенно иной. В конечной экссольюционной (распадной) ассоциации этих образцов присутствует уже бенстонит $(\text{Ba,Sr})_6(\text{Ca,Mn})_6\text{Mg}(\text{CO}_3)_{13}$, а баритокальцита нет вовсе.

Стронций-бариевые карбонатиты «подказали» важнейшую генетическую особенность всех карбонатитовых пород — обязательный распад их исходной карбонатной составляющей в субсолидусных условиях. Эта «тайна» карбонатитов уже столет была «камнем преткновения» для геологов, изучавших данные объекты, одной из при-

чин спора о магматическом или гидротермально-метасоматическом происхождении данных пород.

Рассматриваемые карбонатиты сформировались в близ-поверхностных условиях, охлаждались быстро (закалялись) и сохранили многочисленные признаки распада твердого раствора, вернее, признаки начальных его этапов, диагностика распадных явлений по которым наиболее надежна. Большинство карбонатитов (система $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 + \text{FeCO}_3$) — образования более глубинные. Они охлаждаются медленно, и распад их карбонатной составляющей происходит до конца. При этом в них существенно изменяется химический состав не только карбонатного субстрата, но и всей породы в целом [5].

Можно еще добавить, что мурунские карбонатиты позволили оценить и температурные условия кристаллизации чароитовых пород, относимых некоторыми авторами к низкотемпературным гидротермальным образованиям.

Здесь же, на участке Южном, небольшое жильное тело чароитовых пород пересекает стронций-бариевые карбонатиты, захватывая их обломки в качестве ксенолитов. В последних обнаружен Sr-витерит, для которого ранее в экспериментальных работах была установлена температура кристаллизации — 730°C. Следовательно, температура чароитообразующего субстрата (скорее всего, расплава) выше 730°C. Ни о каком гидротермальном генезисе чароита, по-видимому, не может быть и речи.

Стронций-бариевые карбонатиты на Мурунском массиве еще многие годы будут представлять большой интерес для исследователей. Пока кроме самого крупного рассмотренного нами их выхода на участке Южном, имеются два проявления, изучение которых еще предстоит произвести.

Новое полезное ископаемое

В промышленном отношении стронций-бариевые карбонатиты с традиционных позиций можно рассматривать как новый тип карбонатных стронций-бариевых руд. Мурунское месторождение — самое крупное в мире по карбонатному стронцию, и одно из крупнейших — по карбонатному бария, поскольку карбонатные руды этих металлов очень редки. Но одновременное нахождение в руде близких по химическим свойствам элементов (Ba, Sr, Ca) серьезно усложняют их разделение. Надо было найти область промышленного использования нового сырья без его разделения на индивидуальные компоненты.

С помощью специалистов-металлургов мы решили применить стронций-бариевые карбонатиты в качестве нового эффективного модификатора в черной металлургии взамен специального сплава — силикобария. Я глубоко благодарен С.В.Шаврину (Институт металлургии УрО РАН) и С.С.Черняку (ИРЖИИТ, кафедра металлургии) за их исключительную помощь в технологических исследованиях стронций-бариевых карбонатитов. Особенно большую роль здесь сыграл профессор Черняк. Под его руководством на АО «Куйбышевский завод» в г. Иркутске было проведено около 300 опытных плавков с использованием добавок стронций-бариевых карбонатитов, которые «поставили точку» в данной проблеме.

Дело в том, что щелочно-земельные металлы (Ca, Sr, Ba) по механизму воздействия на стали и чугуны вызывают эффекты раскисления, рафинирования, модифицирования и легирования. Наибольшей модифицирующей способностью отличается кальций, а в присутствии бария этот эффект повышается. Стронций служит активным раскислителем железа, связывая серу и фосфор в шлаке.

В небольших количествах он растворяется в железе, легируя его сплавы. Барий же дает наибольший суммарный эффект (что в общем-то и предопределило специальное производство силикобария). Элементарный по технологии процесс обработки жидких расплавов сталей и чугунов материалом стронций-бариевых карбонатитов в их естественном виде (т.е. без какого-либо обогащения!) существенно улучшает технологические свойства, в первую очередь повышает в два—три раза ударную вязкость, увеличивает прочность при низких температурах (морозостойкость). Последнее особенно актуально для России. В самых общих чертах, положительный эффект обусловлен снижением содержаний фосфора и серы в железе, резком снижении микровключений алюмосиликатов и оксисульфидов, измельчением ферриперлитной структуры стали за счет отсутствия кремний-марганцовистых ликвационных образований и т.д. Суммарный эффект при использовании сразу всех компонентов стронций-бариевых карбонатитов значительно превышает положительный эффект, получаемый от каждого компонента в отдельности, и он оказался значительно выше ожидаемого (не исключено, что здесь сыграла роль еще и 0.3% примесь оксидов редкоземельных элементов). Все это в конечном итоге обеспечило значительный экономический эффект при применении нового сырья.

В экологическом аспекте данные руды могут рассматриваться как идеально благополучные. Ни их добыча (открытым карьером), ни процесс промышленного применения (они используются полностью, без обогащения) не связаны с какими-либо вредными отходами и выбросами в атмосферу. Использование данного сырья позволяет отказаться от значительных количеств других легирующих компонентов (марган-

ца, никеля и др.), производство которых связано со значительным экологическим ущербом. Еще больший экономический эффект связан с отказом от применения силикобария, производство которого приостановили из-за огромных энергозатрат и недопустимо высокого уровня выбросов серы.

Стронций-бариевые карбонаты представляют собой первую и пока единственную карбонатитовую руду, в которой основным промышленным компонентом служит главная породообразующая карбонатная фа-

за с содержанием 60–95%, а не 0.1–5%, как обычно бывает в других карбонатитовых рудах. Мурунское месторождение — пока единственный в мире источник такого сырья, претендующий на статус самой экономически эффективной карбонатитовой руды [6].

Я с большой теплотой вспоминаю всех участников незабываемой эпопеи по добыче и доставке первой технологической пробы (30 т) карбонатитов с месторождения в г. Иркутск (переноска вручную—трактор—автомашина—вертолет—само-

лет), а также геологов и руководство бывшей Чаро-Токкинской экспедиции, оказавших нам большую помощь, осуществив проходку первой канавы по карбонатитовому телу.

В заключение следует добавить, что открытие карбонатитов на Мурунском массиве послужило началом его специального доизучения [7–9], что привело к обнаружению более десятка новых месторождений и проявлений самых разнообразных полезных ископаемых, в том числе новых типов руд и новых видов минерального сырья. ■

Литература

1. Воробьев Е.И. Геохимическая специфика кальцитов карбонатитов как поисковый критерий // Геохимия эндогенных процессов. Иркутск, 1979. С.93–96.
2. Воробьев Е.И., Малышонок Ю.В. Первая находка мезозойских карбонатитов на Алданском щите // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. Новосибирск, 1985. С.116–122.
3. Воробьев Е.И., Конев А.А., Малышонок Ю.В. и др. // Докл. АН СССР. 1989. Т.304. №6. С.1449–1452.
4. Воробьев Е.И., Конев А.А., Афонина Г.Г. и др. // Докл. АН СССР. 1985. Т.282. №4. С.953–957.
5. Воробьев Е.И., Конев А.А. // Геология и геофизика. 1999. Т.40. №8. С.1228–1235.
6. Воробьев Е.И. // Геология рудных месторождений. 2001. Т.43. №6. С.524–539.
7. Воробьев Е.И., Суворова Л.Ф., Конев А.А. // Металлы и руды. 2004. №5. С.13–21.
8. Конев А.А. Воробьев Е.И., Лазебник К.А. Минералогия Мурунского щелочного массива. Новосибирск, 1996.
9. Малышонок Ю.В., Воробьев Е.И., Конев А.А. и др. // Геология и геофизика. 1988. Т.29. №2. С.67–74.

История науки

Северо-Западному проходу 100 лет

В истории географических открытий поиски путей из Атлантики в Тихий океан вдоль северных берегов Америки (Северо-Западный проход) насчитывают несколько веков. Первые попытки относятся еще к концу XV в., когда Д.Кабот в 1497 г. достиг побережья Лабрадора. В XVI в. М.Фробишер открыл земли к западу от Гренландии. В XVII в. Г.Гудзон нашел и описал на побережье Америки реку и залив, названные потом его именем. Однако неудачные попытки У.Баффина¹ в 1615–1616 гг. и последующие его утвержде-

¹Центкевич А., Центкевич Ч. Завоевание Арктики. М., 1956. С.366–388.

ния о том, что этот проход вообще не существует, надолго отодвинули его поиски. Уже в XIX в., в 1845 г., Д.Франклин предпринял очередную попытку, но из его экспедиции никто не вернулся. И только в начале XX в. проход был открыт Р.Амундсеном в ходе трехлетнего плавания на судне «Йоа».

Организация этой экспедиции, ее результаты, хроника всего происходившего подробно описаны и самим Амундсеном, и другими исследователями, зато о судне «Йоа», с честью выдержавшим тяжелейшее трехлетнее испытание стихией, относительно мало сведений².

Судно было спущено на воду в 1872 г. (кстати, в год рождения Амундсена). Имея водоизмеще-

² Polar Record. 2005. V.41. №219. P.355–361.

ние 61.5 т, длину 19.2 м, ширину 4.6 м и осадку 2.1 м, оно было достаточно быстроходным. Первый его владелец, опытный капитан О.Сикси, дал судну имя своей жены Йоа. 10 лет судно использовалось для перевозок бочек с селдью из Северной Норвегии в южные порты страны. В 1882 г. с «Йоа» произошла авария, и ее приобрел опытнейший полярный капитан Х.Х.Иоханнесен. С молодости он получил немалый опыт полярных плаваний и при подготовке Ф.Нансеном экспедиции на «Фраме» дал ему много ценных советов о течениях, льдах, погоде в Арктике, управлении судном во льдах. В 1884 г. Иоханнесен на верфи в Тромсё перестроил «Йоа», доведя тоннаж до 57.07 т; 18 лет судно вело зверобойный промысел в северных морях; дважды использовалось как экспедици-

Рамейковская

онное: в 1892 г. для работ на Шпицбергене и в 1902 г. как плавающая база для шведской экспедиции на тот же архипелаг. Столь многолетние плавания небольшого судна в тяжелых условиях полярных морей доказали его высокие мореходные качества, прочность и удачную конструкцию корпуса из дуба. Иногда говорят о «Йоа» как о грузовом шлюпе, но один лишь стаж ее полярных плаваний опровергает эти суждения.

Когда Амундсен в конце 1900 г. приступил к практическому осуществлению своей заветной мечты найти Северо-Западный проход, ему необходимо было приобрести надежное судно за небольшие, с трудом собранные средства. Узнав о блестящей «карьере» «Йоа» в Арктике, Амундсен купил ее, и весной 1902 г. на верфи в Тромсё ледовый пояс корпуса был усилен, а кают-компания и рубка перестроены. На судно поставили двигатель внутреннего сгорания мощностью в 13 л.с., в плавание было взято 20 тыс. л керосина. Строитель «Фрама» К.Арчер, побывав на «Йоа» до начала экспедиции, без колебаний заявил, что яйцеобразные обводы ее корпуса, подобные обводам «Фрама», смогут выдержать самые мощные сжатия.

Итак, 17 июня 1903 г. Амундсен с шестью опытными спутниками вышел из Христиании (так тогда назывался Осло) на «Йоа». Поиски Северо-Западного прохода с двумя зимовками заняли три года. 31 августа 1906 г. судно пришло в Ном (Берингов пролив). Проход к Тихому океану был найден! 10 сентября судно встало на якорь в военно-морской базе в Сан-Франциско. Комитет американцев норвежского происхождения выкупил судно, ставшее теперь легендарным, и подарил его городу Сан-Франциско. В 1909 г. оно было перенесено на берег парка Золотые ворота и стало местной достопримечательностью.

В столетие со дня рождения Амундсена, в 1972 г., «Йоа» доставили в Осло, где судно стало экспонатом Норвежского морского музея в Бигдэ. Там «Йоа» находится в соседстве с такими знаменитостями, как «Фрам» Нансена, плоты Т.Хейердала «Кон-Тики» и «Ра-2», старинные ладьи викингов. В настоящее время строится точная копия «Йоа», на которой предполагается совершить плавание по Северо-Западному проходу курсами его первопроходца Р.Амундсена.

© **Виноградов В.Н.**
Санкт-Петербург

Зоология

Биологический вид открыт на рынке

Американский биолог Р.Тимминс (R.Timmins) обнаружил неизвестного специалистам грызуна — его тушку продавали на рынке в одном из городов центральной части Лаоса (мясо этого животного считается здесь лакомством). Исследователю удалось поймать несколько особей нового вида (его назвали *Laonastes aenigmamus*). Внешне грызун напоминает черно-серую крысу длиной около 40 см с бакенбардами, короткими лапами и пушистым хвостом. Местные жители называют животное каменной крысой.

По результатам морфологических и молекулярно-генетических исследований специалисты поместили *Laenigmatus* в корень филогенетического древа подотряда дикобразовых, в который входят семейства дикобразовых, шиншилловых, нутриевых и т.д., отделившиеся от ствола подотряда несколько миллионов лет назад. Таким образом, каменную крысу можно считать живым ископаемым. Важно отметить, что это животное относится не только к новому виду, но и роду, а возможно, даже семейству. Если последнее предположение подтвердится,

открытие в XXI в. нового семейства млекопитающих станет настоящей научной сенсацией!

Terre Sauvage. 2005. №207. P.54 (Франция).

Зоология

Новый рекордсмен — забытый старый вид

Первое место по миниатюрности среди позвоночных животных, занятое в 2004 г. бычком *Schindleria brevipinguis*¹ (длина 7 мм), теперь принадлежит абиссальной рыбе *Photocorynus spiniceps*. Она обитает в водах, омывающих Филиппинские о-ва и относится к подотряду глубоководных удильщиков (Ceratitioidei), для которых характерен резко выраженный половой диморфизм: самки гораздо крупнее самцов. Длина взрослой самки *Ph.spiniceps* достигает 46 мм, а самцы вырастают лишь до 6.2—7.4 мм и паразитируют на самке, прикрепляясь к ней и даже с ней срастаясь.

Ph.spiniceps описал еще 80 лет назад британский ихтиолог Ч.Тэйт Риган (Ch.Tate Regan), но ученые, определявшие самого маленького позвоночного, о нем забыли (!). Напомнил коллегам о крошечном удильщике американский биолог Т.Питш (T.Pietsch; Университет штата Вашингтон), опубликовавший обзор, где анализировались половые различия глубоководных рыб. Интересно, что этот исследователь и раньше «возвращал в науку» забытые виды: так, разбирая коллекции Лондонского музея естественной истории, он нашел экземпляр не описанного специалистами удильщика. Этот вид тоже стал рекордсменом, только среди великанов (длина особи 20 см)².

Science et Vie. 2006. №1062. P.19 (Франция).

¹ Подробнее см.: Рыбка-малютка // Природа. 2005. №5. С.45.

² Новый глубоководный удильщик // Природа. 2005. №8. С.48.

Проникновение в подледниковые озера: планы и реальность

П.Г.Талалай

Уже сейчас в Антарктиде обнаружено более 140 относительно небольших подледниковых водоемов и одно крупное озеро, над южной частью которого находится российская станция «Восток». История открытия этого гигантского водоема (длина 230 км, площадь около 14 тыс. км²) уже известна читателям «Природы» [1].

Обнаружено оз.Восток, как и прочие, с помощью дистанционных геофизических методов исследования, но в последние годы все больший интерес проявляется к непосредственному проникновению в озеро при помощи буровой скважины. Только так можно определить вещественный состав подледной воды и получить непосредственные доказательства существования жизни подо льдом или опровергнуть эту гипотезу.

Среди самых осторожных ученых бытует мнение, что на сегодняшнем этапе развития науки и техники невозможно создать абсолютно экологически чистую технологию вскрытия подледниковых озер, и поэтому эту задачу надо отложить для решения нашим потомкам. Тем не менее эта техническая головоломка уже давно привлекает внимание изобретателей и инженеров всего мира. Многие из



Павел Григорьевич Талалай, кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного горного института им.Г.В.Плеханова. Область научных интересов — разработка технологии и техники глубокого бурения скважин во льдах Антарктиды и Гренландии. Участник 35-й Советской антарктической экспедиции 1989—1991 гг. (станция «Восток»). Неоднократно печатался в «Природе».

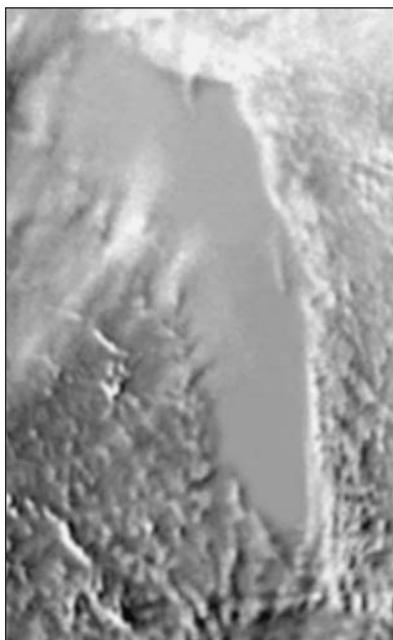
предлагаемых проектов фантастичны и абсурдны, другие — кажутся вполне реалистичными.

Сквозь лед Антарктиды и Гренландии

В 1963 г. российские ученые И.А.Зотиков и А.П.Капица предложили создать для проникновения к ложу ледника автоматическую станцию с атомным нагревателем, в качестве которого был выбран один из миниатюрных атомных реакторов мощностью 100 кВт [1]. Предполагалось, что помещенный в контейнер длиной до 10 м и диаметром около 1 м, он проплывет ледниковый покров на всю глубину и доставит туда приборы и обо-

рудование. При этом контейнер, связанный с поверхностью лишь тонким коммуникационным кабелем, погрузится в лед без образования скважины. К сожалению (а может быть, к счастью), этот проект не был осуществлен.

Похожая идея, правда, без атомного реактора, была воплощена в жизнь в середине 1960-х годов немецким изобретателем К.Филбертом [2]. Он предложил снабдить термоиглу мини-катушками с проводами, которые, раскручиваясь, оставляли за собой два провода для подвода электрической энергии для автономного нагревателя и для измерения характеристик ледника. Эти провода по мере углубления устройства вмерзали бы в лед вместе с расплавленной водой в пробуренной скважине, нав-



Поверхность Антарктического ледникового щита в районе станции Восток с контурами озера. Снимок из космоса.

сегда замуровывая буровое устройство.

В 1968 г. на станции Ярл-Жозе в Гренландии (71°21'с.ш., 33°28'з.д.) термоиглой Филберта удалось углубиться сначала на 218 м, а затем на 1005 м. Остановка бурения произошла из-за короткого замыкания во вмерзших электрических проводах, вероятнее всего, из-за увеличения влагосодержания в их изоляции.

Примерно в это же время электромеханическим снарядам, разработанным в Лаборатории научных и инженерных исследований полярных районов армии США в Хановере, на станции Берд в Антарктиде (80°01'ю.ш., 119°32'з.д.) была пробурена скважина через всю толщу ледникового покрова [3].

На глубине 2164 м были достигнуты подстилающие ледник породы, на контакте с которыми обнаружен слой воды (по мнению авторов проекта, толщиной не менее 0.2–0.3 м). Однако на поверхность удалось поднять лишь небольшое коли-

чество тонкозернистых глинистых частиц, налипших на поверхность бурового инструмента.

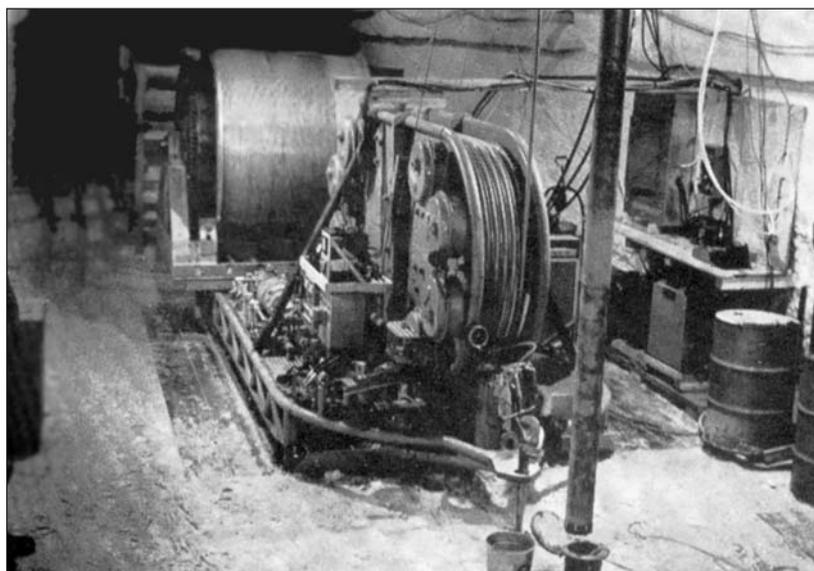
При выравнивании давления подледниковая вода поднялась в скважину на высоту примерно 55 м и, смешавшись с промывочной жидкостью — водным раствором этиленгликоля, образовала в нижней части скважины ледяную шугу, труднопроходимую для бурового снаряда.

В июле 2003 г. в скважине, пробуренной в северной части Гренландии на глубине 3085 м, был вскрыт подледниковый водный горизонт на нижней границе ледникового покрова. Для датских специалистов, основных исполнителей проекта NGRIP (North Greenland Ice core Project), скептически относившихся к возможности существования воды под Гренландским ледниковым щитом, это стало полной неожиданностью. События в скважине развивались почти так же, как и 35 лет назад на станции Берд в Антарктиде: подледниковая жидкость вытеснила промывочную жидкость, заполняющую скважину, и поднялась на высоту 43 м.

Подледниковая вода замерзла, и в летний сезон 2004 г. датские ученые при повторном бурении извлекли на поверхность



Термоигла К.Филберта.



Буровой снаряд готов к спуску (станция Берд, Антарктида. 1968 г.).



Немецкая сезонная база Конен.

примерно 50 кг замороженных образцов подледниковой воды [5]. Однако в связи с несовершенством технологии проникновения в подледниковый водоем образцы оказались практически непригодными для микробиологических и геохимических исследований.

Здесь, видимо, пришло время сказать об экологических последствиях проникновения в реликтовую экосистему, к которой относят подледниковые водные горизонты, и чем они могут быть вызваны.

Как известно, ледники под действием силы тяжести находятся в напряженном состоянии. Лед на стенках скважины деформируется, и стенки становятся неустойчивыми. Ствол скважины сужается, что в конечном счете приводит к авариям — затычкам и прихватам бурового инструмента. Чтобы этого не происходило, скважину заполняют специальной жидкостью, компенсирующей давление ледяной толщи.

В последние годы при глубоком бурении в ледниках используют смесь углеводородной жидкости типа керосина (авиационные топлива или специальные растворители) с дихлорфторэтаном. Эта смесь не теряет

текучести при крайне низких температурах (до -60°C), а плотность ее примерно равна плотности льда. Но, к сожалению, для живых организмов смесь очень токсична.

Особенно опасны насыщенные углеводороды, входящие в состав керосина. Даже при малых концентрациях (более 1 мг/м^3) они оказывают отравляющее действие на низшие формы жизни в водоемах и водостоках. С другой стороны, экспериментально доказано, что промывочная жидкость и сама содержит бактерии различного происхождения [6]. Поэтому при контакте с подледниковой водой она может оказать не только подавляющее действие на жизнеспособность микроорганизмов, находящихся в подледниковой воде, но и вызвать попадание в водоем посторонней микрофлоры. Вот почему гренландские образцы оказались загрязненными. Но вернемся в Антарктиду.

Здесь на Земле Королевы Мод, в соответствии с Европейским проектом колонкового бурения, в летний сезон 2001/2002 гг. на сезонной германской антарктической станции Конен была заложена вторая глубокая скважина для отбо-

ра керна льда по всему разрезу ледникового покрова. Результаты, полученные при бурении первой, на Куполе С в Восточной Антарктиде, позволили реконструировать климат прошлого Земли за рекордный на то время период — 740 тыс. лет [7]*.

В течение трех лет глубина второй скважины была доведена до отметки 2560 м. Согласно радарным исследованиям, граница ледник — подледниковое ложе в этом месте должна находиться на глубине 2780 ± 5 м, но в летний сезон 2005/2006 гг., когда бурение на базе Конен было продолжено, при подходе к подледниковому ложу на глубине 2774 м в скважине появилась вода. Извлеченный на поверхность буровой снаряд и примыкающая к нему часть грузонесущего кабеля оказались покрытыми «ледяной бородой» — первым образцом подледниковой воды. Проникнув в скважину и вытеснив промывочную жидкость, вода поднялась на высоту примерно 80 м.

* Когда я писал эту статью, еще не были обработаны керны из скважины на Земле Королевы Мод (возраст льда оказался равным около 900 тыс. лет) и из скважины на куполе F (здесь был поднят самый «старый» на сегодня образец льда — примерно 1 млн лет).

Замороженная программа НАСА

В середине 1990-х годов несколько научно-исследовательских организаций США получили от могущественного американского космического агентства НАСА целевые гранты на разработку уникальной «стерильной» технологии проникновения в оз.Восток.

Долгосрочная цель этого проекта — исследование Европы, второго по величине спутника Юпитера, полностью покрытого толщей льда. Есть основания полагать, что под ним находится достаточно теплая вода; возможно, в ней существует и жизнь. Другая перспектива — полярные шапки Марса, где многокилометровый слой льда скрывает информацию об истории климатических изменений на этой планете. В качестве аналога и «натурного образца» ледяных шапок планет и спутников Солнечной системы руководство НАСА выбрало антарктический ледник и оз.Восток.

По первому плану «добраться» до подледникового озера планировалось в несколько этапов. Сначала гидродинамическим устройством бурится специальная скважина до глубины примерно 3500 м. Затем на ее забой опускается криобот — автоматическое устройство, предназначенное для проплавления последних нескольких сотен метров и доставки к поверхности подледникового озера другого автомата — гидробота, которое должно исследовать подледниковое озеро.

На поверхность криобот и гидробот не извлекаются. Вся информация о химическом, вещественном, микробиологическом составе подледниковой воды регистрируется специальными датчиками, расположенными в работе-зонде.

По второму плану, криобот начинает проплавливать лед прямо с поверхности ледникового щита, исключая тем самым необходимость использования до-

рогостоящей и громоздкой установки гидродинамического бурения. Но время проходки 3,5-километровой толщи льда значительно увеличивается, поскольку гидродинамическое бурение — «рекордсмен» по скорости протаивания льда (достигающей фантастических значений — 30 м/ч и выше).

Технология сооружения скважин большого поперечного сечения гидродинамическими буровыми устройствами разработана американцами почти двадцать лет назад для изучения свойств нейтрино [8]. Согласно этому проекту, начиная с сезона 1991—1992 гг., на станции Амундсен-Скотт во льду была пробурена серия из 18 скважин глубиной от 1000 до 2400 м, в которые затем были опущены и заморожены 190-метровые колонны труб-датчиков.

Для сооружения скважины гидродинамическим устройством на глубине 40 м от поверхности ледникового покрова создавалась каверна, исполняющая роль резервуара. Скважинный насос откачивал воду из этого резервуара на поверхность, где в специальной емкости происходил предварительный прогрев и дегазация. Затем при помощи поверхностного насоса вода поступала в серию основных нагревателей (на выходе температура воды — около 90°C) и затем через термопластиковый гибкий шланг на забой скважины. Общие энергозатраты на гидродинамическое бурение очень высоки и достигают 2500 кВт при колоссальном расходе топлива (до 25 л на 1 погонный метр проходки) [9].

Гидродинамическое устройство создает временную скважину, которая быстро замерзает после прекращения подачи горячей воды. После доставки на забой криобота скважина замерзает и надежно герметизирует призабойную часть от окружающего мира. На сооружение скважины глубиной 3500 м уйдет предположительно не более двух недель.

Робот-зонд, разработанный уже к концу 1998 г., имеет длину 1 м и диаметр 15 см. Источником энергии должен служить радиоизотопный термоэлектрический генератор, способный вырабатывать 1 кВт тепловой энергии с учетом замкнутого цикла циркуляции жидкого теплоносителя. Термоэлектрический преобразователь снабжает электрической энергией бортовую электронику и датчики.

Сложная система рулевого управления позволяет криоботам изменять положение в скважине и корректировать свой курс при отклонении сооружаемой скважины от вертикали. Эхолоты, расположенный в головке устройства, может оперативно обнаружить границу между ледниковым покровом и водоемом. При достижении подледникового озера криобот разделяется на две части: нижняя часть с термоголовкой и измерительным контейнером опускается в озеро, а верхняя часть, содержащая средства связи и электронное оборудование, вмораживается в лед и становится приемо-передающим устройством.

Попав в подледниковый водоем, нижняя часть криобота выбрасывает гидробот — биохимический зонд, способный плавать и отбирать микробиологические пробы подледниковой воды. Полученная информация передается сначала главному приемо-передатчику устройства, вмороженному в нижней части ледникового покрова, а затем на поверхность. Для связи с поверхностью используется радиопередача, при этом электромагнитные волны по скважине передаются при помощи мини-радиопередатчиков, оставленных при движении криобота к озеру.

Прототип криобота был изготовлен и в сентябре 2000 г. опробован на экспериментальном стенде при бурении—плавлении 5-метровой колонны льда. Общее время проходки составило 11.2 ч, средняя потребля-

емая мощность 418 Вт, средняя скорость бурения—протаивания — 0.43 м/ч. С ноября 2000 г. по январь 2001 г. видеоаппаратура прошла полевые испытания на Леднике С в западной части Антарктиды, совершив семь пробных рейсов в трех скважинах, предварительно пробуренных гидродинамическим устройством с максимальной глубиной «погружения» 1226 м. Качество снимков оказалось очень хорошим — в призабойной зоне были обнаружены похожие на сэндвич чередующиеся слои частой воды и слои, содержащие скальные обломки.

Летом 2001 г. подводная часть робота-зонда была испытана в Тихом океане в районе Гавайских о-вов, а крибот — на леднике Лонгиер архипелага Шпицберген, где в ледниковом льду без каких-либо осложнений была пробурена 23-метровая скважина [10].

Очередной прототип крибота для исследования оз. Восток должен был быть готов к лету 2004 г., но работы по его созданию были остановлены. Офи-

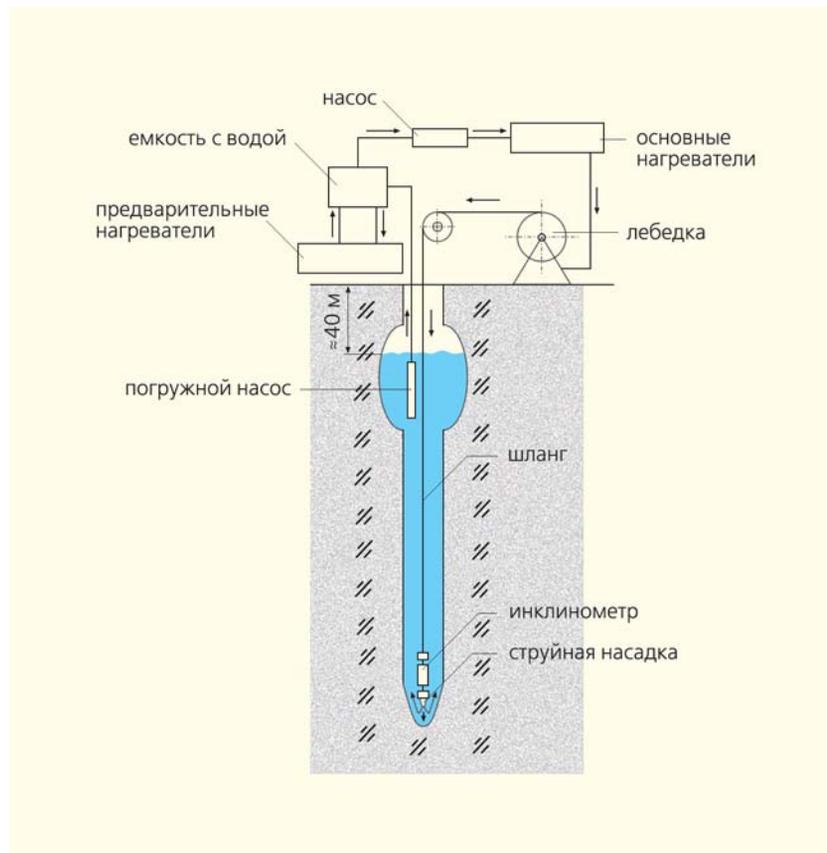


Схема работы установки для гидродинамического бурения льда горячей водой.



Нижняя часть крибота упала на дно подледникового водоема (по материалам журнала «Science»).

Гидродинамическое бурение на станции Амундсен-Скотт.





Общий вид криобота.

специальная причина — недостаточная проработанность экологического аспекта этой технологии вскрытия подледникового водоема. В самом деле, никаких тестирований криобота на стерилизацию не проводилось, и нет полной уверенности, что он не занесет в реликтовое озеро микробы с поверхности или из пройденной ледяной толщи.

Однако, по мнению Ф.Карси, ведущего научного сотрудника проекта, общая работоспособность идеи криобота была продемонстрирована, и еще никто ни в США, ни в мире, так и не сформулировал, насколько чистым должно быть «достаточно чистое» вскрытие подледникового озера.

По мнению автора этих строк (и не только), подлинная причина прекращения финансирования — общая неблагоприятная ситуация с выделением денег на научные исследования в США, начавшаяся во время американских военных опера-

ций в Афганистане и усилившаяся после введения войск в Ирак.

Среди других достаточно интересных планов вскрытия подледниковых озер можно выделить проект, предложенный канадской фирмой *Icefield Instruments Inc.*, специализирующейся на проектировании бурового и геофизического оборудования для гляциологических исследований [11]. Здесь, так же как и в упомянутом американском проекте, для быстрого проникновения через ледниковый покров планируется установка гидродинамического бурения соорудить скважину диаметром 200 мм, не доходящую примерно 10 м до границы лед — подледниковый водоем.

На дно скважины опускается устройство для проникновения в подледниковый водоем и остается там на время, достаточное для того, чтобы скважина сузилась и ее стенки герметично «обжали» корпус устройства, из которого высвобождается термоигла для бурения — протавления оставшейся 10-метровой ледяной перемычки. После проникновения в озеро кабель между термоиглой и устройством отсоединяется, и термоигла падает на дно водоема.

В образованную скважину и затем в подледниковый водоем на кабеле опускается пробоотборник. После выполнения программы исследований он поднимается и входит в корпус устройства, сжатого в скважине. Затем включается специальный замораживающий агрегат, который вызывает обратное перемерзание нижней части скважины. Озеро снова изолировано от скважины.

Однако этот проект вряд ли будет когда-либо осуществлен. Во-первых, для его реализации необходимо поддерживать скважину, что называется, в открытом состоянии в течение выполнения всей программы, а во-вторых, неясна степень надежности герметизации подледникового водоема посредством

простого механического обжатия корпуса устройства стенками скважины. Кроме того, автор будет намораживать перемычку между озером и скважиной, и главное, как практически реализовать план извлечения пробоотборника на поверхность.

Российский проект

С историей бурения на станции Восток читатели «Природы» уже знакомы [12]. Напомню, что проходка самой глубокой скважины была остановлена в 1998 г. на отметке 3623 м, приблизительно в 130 м от поверхности подледникового озера по инициативе Международного научного комитета по антарктическим исследованиям SCAR (Scientific Council for Antarctic Research). Члены комитета рекомендовали не продолжать бурение из-за опасности нарушения экологии уникального реликтового озера. Теперь стоит вопрос о том, как вскрыть подледниковый водоем так, чтобы исключить его загрязнение.

Согласившись с мнением научного сообщества, российские ученые начали разрабатывать особую новую технологию вскрытия подледникового водоема.

Работа выполнялась в основном сотрудниками Санкт-Петербургского государственного горного института и Арктического и антарктического научно-исследовательского института Роскомгидромета. Достижение поверхности оз. Восток и извлечение образцов подледниковой воды предполагается выполнить в три этапа.

На первом этапе скважину 5Г-1 углубят дополнительно на 100 м с помощью колонкового электромеханического снаряда. Это оборудование, уже использовавшееся здесь, доказало свою безопасность, эффективность и надежность. Чтобы предотвратить проникновение токсичной жидкости в подледниковое озе-



Вышки бурового комплекса, полностью погребенного под снегом, на станции Восток. Здесь в летний сезон 2007/2008 гг. планируется проникнуть в подледниковое озеро Восток.

Фото А.П.Маркова

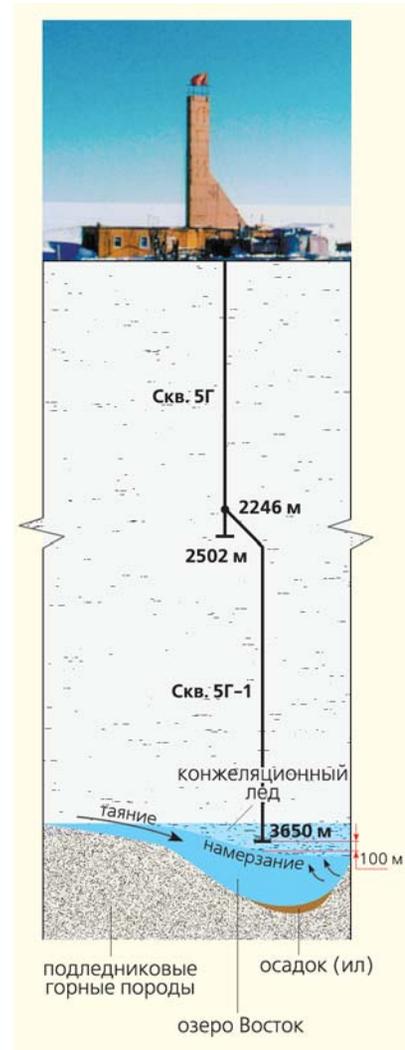


Схема самой глубокой скважины во льдах Антарктиды — скважины 5Г-1.

ро, призабойную часть скважины предполагается заполнить экологически безопасной кремнийорганической жидкостью класса полиметилсилоксановых соединений, которая создаст примерно 100-метровый буферный промежуточный слой между забоем и ранее использовавшейся жидкостью. Кремнийорганические жидкости гидрофобны, т.е. нерастворимы в воде. Для людей и животных они безвредны.

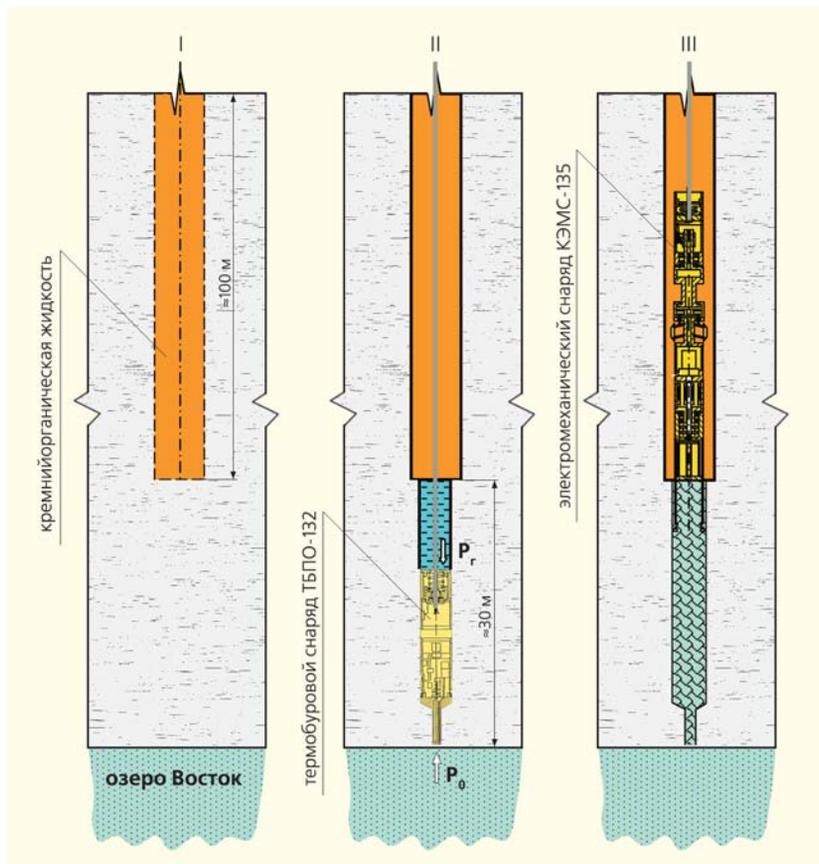
Для исключения попадания в подледниковый водоем посторонних микроорганизмов перед

доставкой жидкости на забой скважины она должна быть подвергнута тщательной термической или лучевой стерилизации.

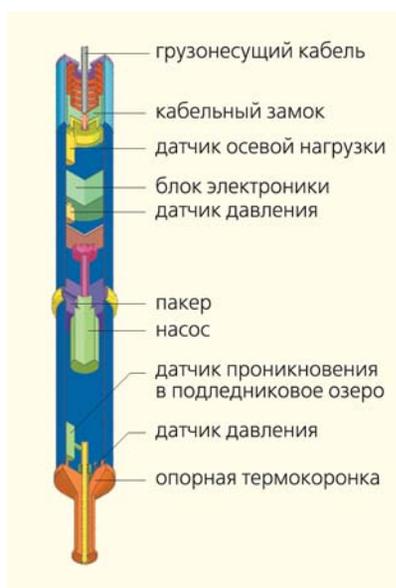
На втором этапе бурение последних 30 м до выхода в озеро будет проводиться при помощи специально разработанного термобурового снаряда ТБПО-132 без его подъема на поверхность. Он будет создавать еще один буферный слой из талой воды, расположенный ниже слоя гидрофобной кремнийорганической жидкости. При достижении пилот-скважиной поверхности озера система

датчиков подаст мгновенный сигнал на поверхность. В результате произойдет автоматическое включение пакера — устройства, изолирующего призабойную зону от остальной части скважины, отключится электропитание тепловой коронки, и буровой снаряд останется.

В соответствии с показаниями датчиков, размещенных в буровом снаряде, будет произведена оценка соотношения давления внутри скважины (гидростатического давления столба жидкости) P_1 и давления воды



Три этапа вскрытия подледникового озера Восток в соответствии с российским проектом.



Общий вид термобурового снаряда ТБПО-132, разработанного в Санкт-Петербургском государственном горном институте.

в озере P_0 . В зависимости от этого соотношения возможны три варианта развития дальнейших событий.

Наиболее вероятный и желаемый сценарий — если гидростатическое давление столба жидкости меньше давления воды в озере ($P_1 < P_0$). В этом случае под действием разницы давлений озерная вода будет стремиться попасть в скважину, но прямой проход окажется перекрытым опорной термокоронкой бурового снаряда. Вода попадет в скважину, только когда будет снят пакер и буровой снаряд поднимется на поверхность. Экологической угрозы такое развитие событий не несет, поскольку скважинная жидкость не попадет в воды озера.

Второй вариант возникнет, если гидростатическое давление столба жидкости окажется примерно равным давлению

воды в озере ($P_1 \approx P_0$): озерная вода также поднимется в скважину при подъеме бурового снаряда. При этом объем поступающей в скважину воды будет примерно равен объему извлекаемого грузонесущего кабеля и объему самого бурового снаряда при поднятии его на поверхность.

Третий случай, когда гидростатическое давление столба жидкости больше давления воды в озере ($P_1 > P_0$), может возникнуть из-за ошибки оценки давлений. Тогда при выходе пилот-скважины в озеро на буровой снаряд будет действовать усилие, прижимающее опорную термокоронку к забою, что позволит изолировать озеро от скважины. Пакер обеспечит дополнительную изоляцию. Далее предполагается откачать часть жидкости из скважины с тем, чтобы события развивались по первому варианту, когда гидростатическое давление столба жидкости меньше давления воды в озере. Затем снаряд поднимут на поверхность, и озерная вода поступит в скважину.

Таким образом, термобуровой снаряд будет выполнять функцию клапана, разобщая озеро и скважину в момент выхода пилот-скважины в подледниковый водоем. Во всех трех вариантах жидкость из скважины не должна попасть в озеро, а наоборот, озерная вода должна подняться в скважину. При этом высота подъема озерной воды легко регулируется откачкой или добавлением промывочной жидкости с поверхности. В конечном счете предполагается, что скважинное давление будет меньше озерного на 0.3–0.4 МПа, что обеспечит подъем озерной воды на 30–40 м.

После подъема на поверхность термобурового снаряда работы в скважине прекратятся до замерзания поступившей в скважину подледниковой воды. На это уйдет примерно месяц. После этого начинается заключительный этап — извле-

чение на поверхность замерзшей озерной воды колонковым электромеханическим снарядом. Бурение будет остановлено не доходя 10–15 м до поверхности подледникового озера. Оставшаяся перемячка обеспечит полную изоляцию ствола скважины от подледникового озера.

Макет термобурового снаряда ТБПО-132 был испытан при бурении искусственного льда в лаборатории Санкт-Петербургского горного института. Эксперименты показали общую работоспособность системы и доказали возможность эффективного бурения-плавления ступенчатым забоем.

Разработанный проект получил положительное заключение Государственной экологической экспертизы Министерства природных ресурсов РФ и в июне 2003 г. стал одной из главных тем обсуждения на XXVI Консультативном совещании по Договору об Антарктике — глав-

ном форуме международного антарктического сообщества, проходившего в Мадриде. Несмотря на жесткое противодействие некоторых делегаций, российская сторона убедила международное сообщество, что новый проект строго следует всем требованиям Протокола об охране окружающей среды Антарктики. С учетом рекомендаций, вынесенных на совещании, проект проникновения в водный слой озера Восток наконец получил возможность перейти в фазу практической реализации.

* * *

В летний сезон 2005–2006 гг. бурение глубокой скважины 5Г-1 на станции Восток было продолжено. Поскольку американские и французские партнеры не участвуют в обеспечении этих работ, проникновение в оз.Восток стало целиком национальным российским проектом. Колонковым электро-

механическим снарядом удалось углубить скважину до отметки в 3650.2 м при средней рейсовой проходке 0.7–0.8 м, но 25 января сезонные работы на станции Восток закончились, и нехватка времени не позволила углубиться еще дальше. Вместо запланированных 50 м удалось пройти чуть больше 27 м. Но и этот результат можно считать очень хорошим. Буровое оборудование еще раз доказало свою эффективность, и, главное, состояние скважины после восьмилетнего простоя оказалось пригодным для безаварийного продолжения бурения.

До подледникового озера осталось еще около 100 м. В ближайший антарктический сезон 2006/2007 гг. буровые работы в скважине будут продолжены, и антарктическим летом 2007/2008 гг. запланировано проникновение в оз.Восток. Будем надеяться, что это долгожданное событие наконец произойдет. ■

Литература

1. *Зотиков И.А.* Антарктический феномен — озеро Восток // *Природа*. 2000. №2. С.61–68.
2. *Philbert K.* The thermal probe deep-drilling method by EGIG in 1968 at Station Jarl-Joset, Central Greenland // *Ice-Core Drilling: Proc. of the Symp. Univ. of Nebraska, Lincoln, USA*, 28–30 Aug. 1974. Lincoln, 1976. P.117–132.
3. *Ueda H.T., Garfield D.E.* Core drilling through the Antarctic ice sheet // *USA CRREL Tech. Rep.* 231. Hanover, 1969.
4. *Талалай П.Г.* Проект NGRIP завершен, продолжение следует // *Природа*. 2004. №3. С.33–38.
5. *Талалай П.Г.* Первые итоги бурения самой глубокой скважины во льдах Гренландии // *Природа*. 2005. №11. С.32–39.
6. *Булат С.А., Васильева Л.П., Пети Ж.Р., Лукин В.В., Алехина И.А.* Молекулярно-биологическое исследование бактериального состава жидкости для бурения из скважины 5Г-1, станция Восток, Антарктида // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2003. Вып.74. С.88–102.
7. *Гиляров А.М.* Климат Земли за 740 тысяч лет // *Природа*. 2004. №11. С.83.
8. *Koci B.R.* The AMANDA Project: Drilling precise, large-diameter holes using hot water // *Mem. of National Inst. of Polar Research*. 1994. №49. P.203–211.
9. *Koci B.* Wotan: a drill for ice cube // *Mem. of National Inst. of Polar Research*. 2002. №56. P.209–216.
10. Криобот плавит льды // *Природа*. 2002. №12. С.75.
11. *Blake E.W., Price B.* A proposed sterile sampling system for Antarctic subglacial lakes // *Mem. of National Inst. of Polar Research*. 2002. №56. P.253–263.
12. *Талалай П.Г.* Долгий путь сквозь льды Антарктиды // *Природа*. 2003. №9. С.36–45.

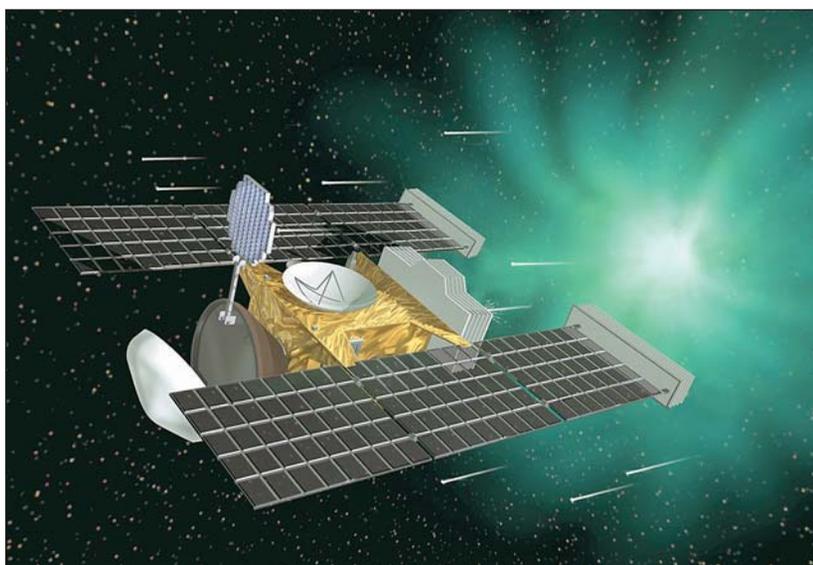
Экспедиция за веществом кометы

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

15 января 2006 г. межпланетный аппарат совершил посадку в пустыне Юта (США). Однако он не имел никакого отношения к летающим тарелкам. Прибывшие на нем «инопланетяне» оказались частичками межпланетного вещества. Их доставила на Землю спускаемая капсула аппарата «Stardust» («Звездная пыль»). В основном это частицы кометы Вилда-2, захваченные два года назад во время встречи аппарата «Stardust» с древней кометой*. Но среди них могут быть и частицы межпланетного и даже межзвездного вещества!

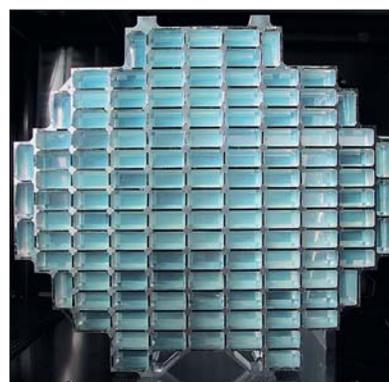
А началась эта история 7 февраля 1999 г., когда НАСА запустило в межпланетное пространство космический аппарат для сбора вещества в хвосте периодической кометы 81P/Вилда-2 и доставки собранных образцов на Землю. До этого несколько раз космические зонды уже сближались с кометами. В 1985 г. с ядром кометы 21P/Джакобини—Циннера сближился аппарат «International Cometary Explorer» (НАСА). В 1986 г. ядро кометы 1P/Галлея изучали с близкого расстояния сразу пять автоматических межпланетных станций — две

* Что расскажет комета Вилда-2? // Природа. 2004. №9. С.81—82.



Аппарат «Stardust» (НАСА).

японские («Сакигаке» и «Суйсей»), две советские («ВЕГА-1 и -2») и одна европейская («Джотто»), причем последняя приблизилась к ядру на 600 км. А в июле 1992 г. «Джотто» подошел к ядру кометы 26P/Григга—Скьеллерупа на расстояние всего 200 км. В 2001 г. с ядром кометы 19P/Борелли сближился аппарат «Deep Space-1» (НАСА). В ходе этих экспедиций на Землю были переданы результаты дистанционного зондирования, а также изображения ядер комет Галлея и Борелли. Но о доставке на Зем-



Ловушка с аэрогелем
(диаметр 40 см, толщина 1.3 см).

лю вещества комет не было даже речи. Экспедиция «Stardust» стала первой, в рамках которой аппарат должен был не только долететь до ядра кометы, но и вернуться обратно! Полет был рассчитан на 7 лет, но астрономы готовы были ждать так долго, лишь бы получить образцы кометной пыли.

Аппарат «Stardust» невелик: 1.7 м в длину и массой 380 кг (вместе с топливом для двигателей коррекции). Для сбора космической пыли был разработан специальный коллектор площадью в 1000 см², состоящий из алюминиевых сот, заполненных особым мелкопористым силикатным материалом — аэрогелем. По существу это сверхпористое стекло (SiO₂), самое легкое среди известных твердых тел, на 99.8% состоящее из пор нанометрового размера. Считается, что он лучше всего подходит для захвата хрупких частиц кометы без их серьезного повреждения. Налетая со скоростью несколько километров в секунду, пылинки глубоко погружаются в вещество коллектора и достаточно плавно тормозятся. При этом они не пробивают коллектор насквозь, но и сами не испаряются от удара. Частицы вязнут в аэрогеле, оставляя за собой конусообразный след в сотни раз длиннее самой частицы. Поскольку аэрогель полупрозрачен, ученые могут использовать эти следы для обнаружения крошечных частиц.

Зачем нужна была такая длительная и дорогостоящая экспедиция? Почему астрономы интересуются кометами и по какой причине для пробы вещества была выбрана именно комета Вилда-2? Для ответа на эти вопросы нужно кое-что напомнить о кометах. Астрономы считают кометы наиболее старыми и примитивными телами Солнечной системы; они образовались из того же вещества, что и протосолнечная туманность, которая затем сжалась, образовав Солнце и планеты. Теперь мы уже точно знаем, что кометы

содержат существенное количество замерзшей воды, пыль и углеводородные смеси. Именно они могли быть основным источником воды и органических молекул на Земле, когда она более 4 млрд лет назад подверглась интенсивной бомбардировке этими телами. Несмотря на свой большой физический возраст, ядра комет, населяющих периферию Солнечной системы, не претерпели, как полагают, заметной эволюции. Вдали от Солнца, лишённые внутренних источников тепла, они стали идеальным хранилищем первичного планетного вещества. В некотором смысле современные кометы похожи на «машины времени»: они открывают окно в прошлое, в те времена, когда Солнечная система была совсем юной и жизнь на Земле только зарождалась.

Поскольку экспедиция к комете планируется за несколько лет, кандидата для встречи приходится выбирать из числа известных, неоднократно наблюдавшихся комет с точно вычисленной орбитой. Это периодические кометы, при этом предпочтительны движущиеся недалеко от орбиты Земли, с особо коротким периодом (ведь космическому аппарату после встречи предстоит еще вернуться назад). Однако близость орбиты к Земле означает и ее близость к Солнцу, жар которого стимулирует химические процессы в древнем веществе кометы, а этого хотелось бы избежать. И тут астрономам повезло: среди сотен известных периодических комет судьба подарила им комету Вилда-2. Еще недавно она обращалась вокруг Солнца между орбитами Юпитера и Урана, но все изменилось, когда в сентябре 1974 г. она пролетела на расстоянии 0.006 а.е. от Юпитера. Это сближение с гигантской планетой катастрофически изменило орбиту кометы и отбросило ее внутрь Солнечной системы. Перейдя на новую орбиту, комета приблизилась к Солнцу и 6 января 1978 г., во время своего первого сближе-



Ядро кометы Вилда-2.

ния с Землей (на 1.21 а.е.), была открыта Паулем Вилдом (на его счету она оказалась второй). Новая орбита кометы Вилда-2 имеет период 6.39 года и лежит почти в плоскости земной орбиты, что существенно облегчает встречу с ней космического аппарата.

Но главное не в этом. Комета Вилда-2 девственно свежа. До своего сближения с Юпитером в 1974 г. она была «законсервирована» на холодной окраине Солнечной системы. Обычно каждое сближение с Солнцем приводит к выпариванию некоторого количества летучих веществ с поверхности ядра кометы; примерно после 100 ее сближений с Солнцем (как это было, например, с кометой Галлея) она теряет большую часть своих летучих газов, покрывается толстой термостойкой корой и уже при следующих встречах с Солнцем не проявляет активности — не окружает себя газовой пылевой комой и не распускает гигантский хвост. А поскольку Вилда-2 к моменту встречи с аппаратом «Stardust» всего лишь пять раз приближалась к Солнцу, она еще не потеряла большую часть своих замерзших газов, смешанных с пылью, а значит, вещество на ее поверхности все еще сохраняет свои изначальные качества.

Летучие вещества



Космическая пылинка и ее след в аэрогеле длиной около 1 мм. Эта ловушка экспонировалась на околоземной орбите во время полета шаттла.

Научные сообщения

В общем, комета Вилда-2 оказалась в нужное время в нужном месте. Рассчитанная для «Stardust» траектория полета позволила космическому аппарату подлететь к комете с относительно малой скоростью — около 6 км/с. Поэтому мелкие частицы кометной пыли неспособны были пробить коллектор насквозь, а должны были застрять в нем. Доставил ли их посадочный аппарат на Землю — пока не ясно: исследования заполненного аэрогелем коллектора только начались.

Впрочем, на своем долгом пути к комете «Stardust» решал многие задачи: вдоль траектории полета он дважды брал пробы межпланетного вещества; в январе 2001 г. совершил гравитационный маневр в поле тяготения Земли, чтобы в январе 2004 г. сблизиться с кометой, а попутно, в ноябре 2002 г., он пролетел близ астероида 5535

Аннефранк. Эта малая планета, названная в память о жертве фашистского геноцида Анны Франк, которая вела знаменитый дневник, находится в Главном поясе астероидов между Марсом и Юпитером. При максимальном сближении с астероидом на 3300 км космический аппарат получил его изображение. Хотя разрешение картинки недостаточно высокое, чтобы различить детали поверхности, все же были определены форма, размер и отражательная способность астероида. Имея в поперечнике 6 км, астероид Аннефранк оказался больше и темнее, чем ожидалось.

Встреча зонда с кометой Вилда-2 состоялась за орбитой Марса, что довольно далеко от Солнца, но все же солнечного тепла оказалось достаточно для испарения газа и сдувания частиц с ее поверхности. Уже на расстоянии 500 км «Stardust» начал передавать снимки ядра кометы. На них хорошо видны многочисленные кратеры и холмистая поверхность. При сближении с ядром кометы на 240 км ее частицы ударили по земному посланцу со скоростью, в шесть раз превышающей скорость винтовочной пули. Но жизненно важные органы аппарата были прикрыты специальной защитой (типа многослойной танковой брони, хотя и не столь тяжелой), а ловушка с аэрогелем была выставлена наружу. При этом ее развернули «свежей» стороной вперед, чтобы кометные пылинки не смешались с ранее захваченными межпланетными, а может быть, кто знает, и межзвездными.

Собрав кометную пыль, «Stardust» вернулся к Земле и сбросил спускаемый аппарат с ловушкой пыли, а комета Вилда-2, слабая и едва различимая в телескоп, заняла свое место в списке исторических комет. Ее частички, хранящиеся в возвращаемой капсуле, вероятно, стар-

ше Солнца. Они будут изучаться в течение нескольких лет и должны дать новые сведения о ранней истории Солнечной системы. Но прежде чем исследовать эти микроскопические частицы, их нужно разыскать в веществе ловушки. Предварительные оценки показывают, что захвачено несколько тысяч кометных частиц и всего около полусотни частиц межпланетной (или даже межзвездной) пыли. Так что найти их в объеме ловушки — непростая задача. Каждый из нас тоже может помочь в поиске этих пылинок. В лаборатории НАСА ловушка с аэрогелем будет сфотографирована слой за слоем, и около 1.5 млн снимков будут выложены в Интернете (адрес <http://stardustathome.ssl.berkeley.edu/>). Доступ к ним был открыт в марте 2006 г.

Виртуальный микроскоп может в трудном поиске пылинок в недрах аэрогеля. В рамках программы Stardust@home каждый желающий сможет участвовать в увлекательной охоте за космическим веществом, а найдя пылинку, получит право дать ей имя.

Любопытно, что пока «Stardust» нес свой бесценный груз к Земле, состоялась еще одна встреча автоматического зонда с кометой: аппарат «Deep Impact» (НАСА) сблизился с ядром кометы 9P/Темпеля-1. Контакт был более чем тесным: выстрелив массивной болванкой в комету, зонд вызвал солидный взрыв на поверхности ядра и дистанционно исследовал выброшенное вещество. А в перспективе — еще одна интересная встреча: к комете 67P/Чурюмова—Герасименко держит путь европейский зонд «Rosetta». В 2014 г. он станет спутником ядра этой кометы и высадит на него автоматическую лабораторию.

Одним словом, за кометы взялись всерьез. ■

Землетрясение в Корякии

Т.К.Пинегина,

кандидат географических наук

Т.Г.Константинова

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Петропавловск-Камчатский

На территории Корякского автономного округа 21 апреля 2006 г. произошло сильнейшее за период исторических и инструментальных наблюдений в этом районе землетрясение с магнитудой $M_s = 7.7^*$, названное Олюторским. Координаты эпицентра: 60.91° с.ш., 166.98° в.д., глубина гипоцентра составила около 10 км [1]. За последующий месяц в районе отмечалось множество афтершоков, четыре из них — с магнитудой более шести.

Для населения это событие было полной неожиданностью, так как считалось, что Корякию «сильно не трясет». В пострадавших поселках прошли слухи о том, что в море вырос вулкан, который и стал причиной землетрясения. Что же произошло на самом деле?

Территория Корякского автономного округа расположена на стыке нескольких литосферных плит, границы которых отличаются между собой по уровню сейсмической активности [2]. Северная часть Корякии относится к Северо-Американской плите, южная и юго-западная — к Охотской, северо-восточная — к Берингоморской [3–8]. Сеймотектонические движения

* M_s — магнитуда, определенная по поверхностным волнам.

© Пинегина Т.К., Константинова Т.Г., 2006

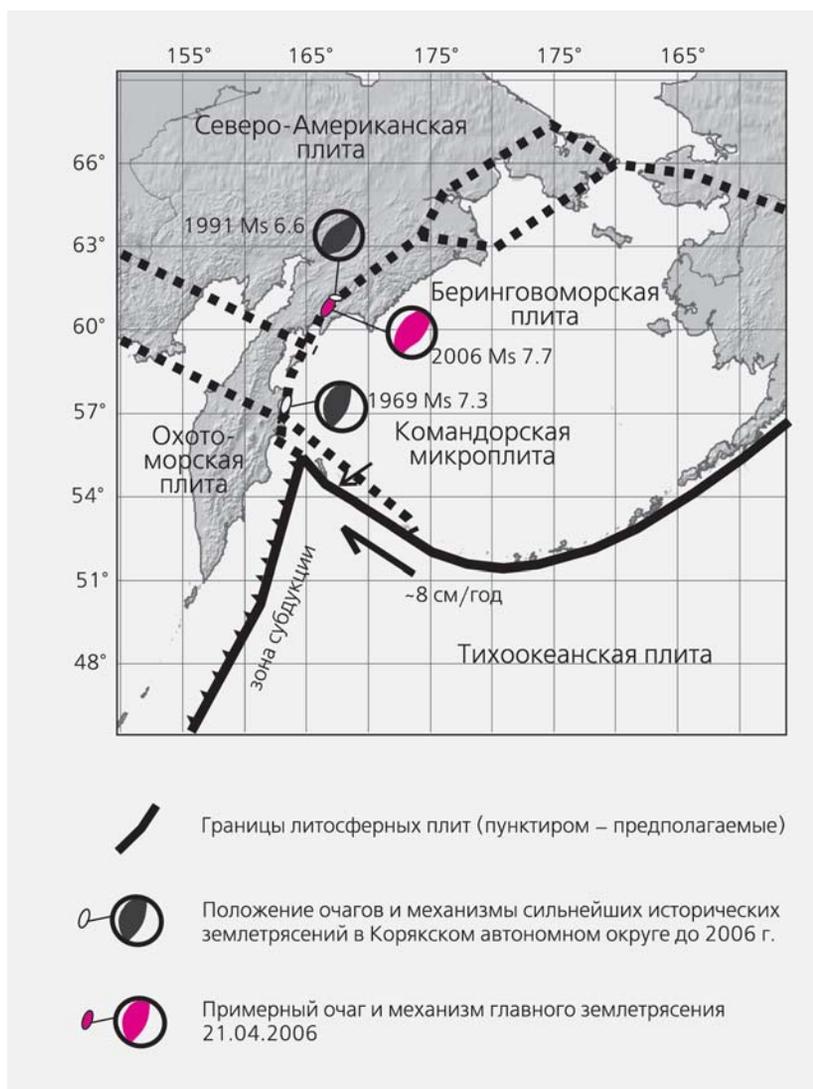


Схема положения границ литосферных плит и очаги сильнейших землетрясений на территории Корякского автономного округа.

на границах этих плит по сравнению с движениями на границе Тихоокеанской и Охотоморской плит (Курило-Камчатская зона субдукции) характеризуются небольшими скоростями. Поэтому сильные землетрясения на Камчатке обычно происходят на востоке и юго-востоке, а на северо-востоке полуострова до 1991 г. землетрясения были слабыми, практически неощутимыми для человека. По геолого-геофизическим данным и с учетом распределения прошлых слабых сейсмических событий, были намечены границы взаимодействия Северо-Американской и Беринговоморской плит. В Корякии за время инструментальных сейсмологических наблюдений до Олюторского землетрясения произошло всего два сильных сейсмических события — Озерновское 1969 г., возбудившее цунами высотой около 8 м, и Хаилинское 1991 г. Положение очагов этих землетрясений совпадает с предполагаемым положением границ взаимодействия тектонических плит.

На карте общего сейсморайонирования 1978 г. Корякский автономный округ отнесен к 5—6-балльной зоне, но после Хаилинского землетрясения населенные пункты Тилички, Корф и Хаилино перевели в 7-балльную зону (для средних грунтов),

т.е. в среднем по всему округу сейсмическая интенсивность была поднята на одну единицу.

В 1997 г. большим коллективом авторов была составлена новая карта общего сейсмического районирования — ОСР-97 (<http://kbgs.kscnet.ru/>), на которой пос.Корф и села Тилички и Хаилино находятся в пределах 8-балльной зоны. Но все же сильное землетрясение 21 апреля 2006 г. оказалось неожиданным.

Сразу после главного толчка сотрудники Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН при содействии МЧС России были направлены в эпицентральную зону для проведения макросейсмического обследования. Исследования проводились с 23 апреля по 13 мая. За это время в районе произошло несколько сильных афтершоков. Камчатский филиал геофизической службы РАН также направил в район бедствия сотрудников для постановки сети GPS и сейсмических станций.

В первые дни после нашего приезда в наиболее пострадавших пос.Корф и селах Тилички и Хаилино отсутствовали электричество, вода, телефонная связь. Их восстанавливали на наших глазах.

Макросейсмическое обследование включало опрос насе-

ления, сбор данных о повреждениях различных построек; документацию нарушений на земной поверхности в зависимости от типа грунта; изучение геологических эффектов, возникших в результате землетрясения; проведение замеров трещин и просадок; определение характера подвижек по сейсморазрывам, выходящим на поверхность в очаговой зоне; сбор фото- и видеоматериалов.

По данным местной администрации, в пос.Корф находилось 90 домов, в которых проживало 1352 человека, в Тиличках проживал 1991 человек в 150 домах, в Хаилино — 794 жителя в 74 домах. После землетрясения не подлежат восстановлению 12 домов в Корфе, 23 — в Тиличках и 16 — в Хаилино.

В этих поселках мы обследовали около одной трети всех домов. Сильнее всего пострадали бетонные дома — школы, детские сады, котельные, здания дизельных электростанций, а также водопровод, ЛЭП, линии телефонной связи. Трещины рвали фундаменты домов, проходили через несущие стены. Именно они вызвали многочисленные конструктивные повреждения.

Деревянные двухэтажные и одноэтажные дома, составляющие основной жилой фонд по-



Здания интерната (слева) и школы в с.Тилички после землетрясения.

Здесь и далее фото Т.К.Пинегиной

селков, оказались более сейсмостойчивыми. Несмотря на множество трещин в фундаментах, перекосы и зазоры между стенами, они выстояли как во время главного толчка, так и во время последующих сильных афтершоков.

Нами было уточнено, что в Корфе землетрясение ощущалось в 9 баллов, а в Тиличихах и Хаилино — 8 баллов.

Сила сотрясений во многом зависит от сейсмических свойств грунтов. Самый неблагоприятный, с этой точки зрения, пос.Корф, который стоит на песчаной косе, протянувшейся с севера на юг на 20 км при максимальной ширине 500 м. Наиболее высокая часть Корфской косы превышает уровень моря всего на два метра. Глубина же залегания грунтовых вод здесь 0.5—2 м. Коса состоит преимущественно из разнозернистого морского песка, включая тонкозернистый иловатый песок лимана, отделяющего косу от коренного берега. К моменту землетрясения грунт косы был заморожен на 1—1.5 м. Нижние слои не замерзают и всегда сильно обводнены. Из-за этого во время землетрясения здесь повсеместно произошло разжижение грунта (гиксотропия), которое сопровождалось образованием грязевых вулканчиков и фонтанированием обводненного песка по трещинам. Высота фонтанов достигала 1—2 м. Фонтаны возникали не только на косе, но и в бухте.

Лед мощностью 1.5 м между коренным берегом и косой был разбит многочисленными трещинами, а вдоль всего западного берега образовался ледяной торос высотой до нескольких метров. Поверхность косы сильно деформировалась, наблюдалась просадка грунта. Пятна отдельных грязевых выбросов достигали площади в несколько квадратных километров.

Села Хаилино и Тиличиха стоят преимущественно на аллювиальных песчано-галечных отложениях, и разжижение

грунта там носило более локальный характер.

Во всех поселках в результате землетрясения на земной поверхности возникли трещины, глубина которых достигала нескольких метров, а протяженность — несколько сотен метров. Ширина трещин изменялась от двух-трех сантиметров до нескольких метров. Вдоль трещин также происходили выбросы грязи и просадка грунта.

Сразу после землетрясения группа специалистов приняла участие в аэровизуальных наблюдениях. Е.А.Рогожин (Институт физики Земли РАН), участвовавший в облете эпицентральной зоны, предоставил нам примерную схему положения главных сейсморазрывов. Таким образом, наша основная задача состояла в том, чтобы в пешеходных и лыжных маршрутах найти разрывы на местности, измерить величину деформаций и точно привязать их к карте.

По результатам полевых исследований можно сказать, что зона, с сейсморазрывами на поверхности, протягивается более чем на 100 км, ширина ее около 20 км. Сейсморазрывы образуют



Провал дымохода на крыше деревянного дома в с.Тиличихи.

серию кулис, вытянутых с северо-востока на юго-запад. Длина отдельных кулис достигает нескольких десятков километров. Характер движения по разрывам — взбросо-сдвиг, т.е. взброс юго-восточного крыла и его сдвиг в юго-западном направлении. Азимут простираения сейсморазрывов в среднем 30—40°. На поверхности взброшенное крыло по отношению к нижеле-



Разрушенная бетонная «рубашка», укреплявшая стену деревянного дома в с.Тиличихи.



Грязевые вулканчики в пос. Корф. Высота выбросов во время «извержения» превышала 1 м.

жащему образует угол от 45 до 90°. Иногда верхние слои грунта мощностью 1–2 м взброшены и надвинуты на нижнее крыло под малыми углами. Амплитуда таких микронадвигов в горизонтальной плоскости не превышает нескольких метров. В целом разрывы представляют собой зигзагообразные линии, вдоль которых поочередно располагаются зияющие трещины глубиной 5–9 м с правосторонними сдвигами и взбросы с микронадвигами. Длина и тех и других участков, как правило, не превышает нескольких десятков метров, угол между трещинами и взбросами выдержан по простиранию разрывов и составляет 90–120°.

Максимальный взброс по разрыву произошел, по нашим данным, в северо-восточной части очаговой зоны, примерно в 30 км к северу от с. Хаилино. По одному из замеров, он составил 2.8 м. В центральной части зоны, величина взброса в среднем составляла 30–40 см, реже 1 м. Но здесь произошел максимальный по амплитуде правосторонний сдвиг (1.6 м). В северной части сдвиг не превысил 30–60 см, в южной — 10 см.

Сейсморазрывы хорошо прослеживались на склонах сопкок. При пересечении долин ручьев и рек, они часто исчезали. На поверхности в таких участках образовывалась сеть трещин различных направлений с просадками и грязевыми выбросами. Положение подобных деформаций в плане может указывать на разлом, не вышедший на поверхность.

Геологические данные, полученные в ходе обследования сейсморазрывов, позволили понять характер произошедшей подвижки по разлому и уточнить механизм землетрясения, определенный по сейсмологическим данным.

* * *

В заключение еще раз подчеркнем, что Олюторское землетрясение — первое землетря-

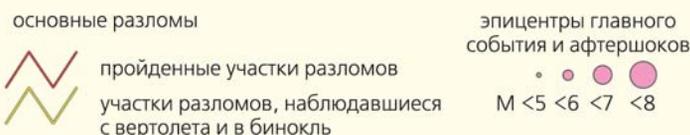
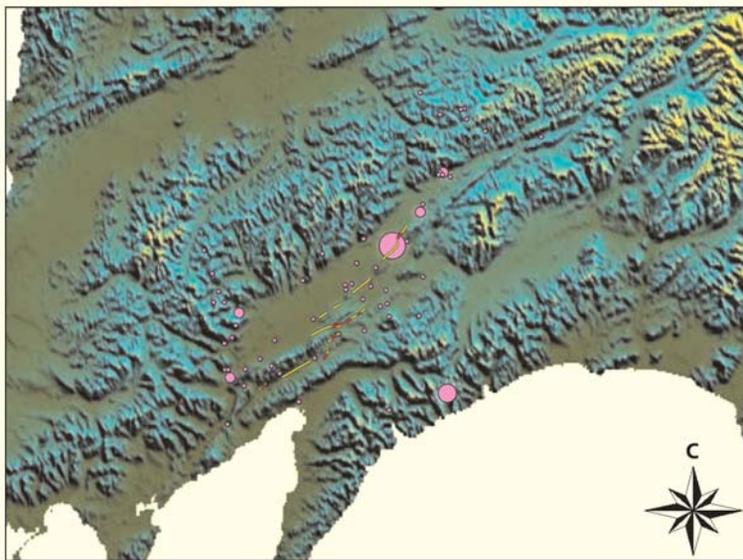


Схема положения разломов по результатам аэровизуальных и полевых наблюдений.



Трещины с провалами на Корфской косе.



Сейсморазрыв в центральной части очаговой зоны.

сением такой силы в Корякии за весь период исторических и инструментальных наблюдений. Несомненно, в геологическом прошлом здесь такие события уже случались. Например,

известно, что повторяемость сильных цунами в Беринговом море составляет 150–300 лет, и большая часть их возникает в результате местных землетрясений в акватории Берингова

моря [3]. Но, к сожалению, до сих пор нет точных данных о периоде повторяемости подобных событий на суше, и это — первостепенная задача для будущих исследований. ■

Обработка фактического материала проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 06-05-64025.

Литература

1. Harvard CMT Catalog: <http://www.seismology.harvard.edu/>
2. Отчет о работе в 1993 г. по теме «Уточнение карты общего сейсмического районирования КАО», ответственный исполнитель А.В.Викулин, ОМСП ИВ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 1993.
3. Bourgeois J., Pinegina T.K., Ponomareva V., Zaretskaia N. // GSA Bull. March/April. 2006. V.118. P.449–463.
4. Gaedicke C., Baranov B., Seliverstov N. et al. // Tectonophysics. 2000. V.325. P.63–85.
5. Geist E.L., Scholl D.W. // Tectonics. 1994. V.13. P.538–560.
6. Gordeev E.I., Gusev A.A., Levin V.E. et al. // Geophys. J. Intern. 2001. V.147. P.189–198.
7. Селивёрстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М., 1988.
8. Steblou G.M., Kogan M.G., King R.W. et al. // Geophys. Research Lett. 2003. V.30. P.4.

Пляжи озера Байкал

Т.Г.Потемкина,

кандидат географических наук
Лимнологический институт СО РАН
Иркутск

Живописны и разнообразны берега самого глубокого в мире оз. Байкал, чистейшие воды которого заполняют тектоническую впадину, окруженную горными хребтами. Но недаром это озеро называют морем, его объем составляет 23 тыс. км², а на поверхности, кроме обычного волнения и течений, порой разыгрываются настоящие штормы.

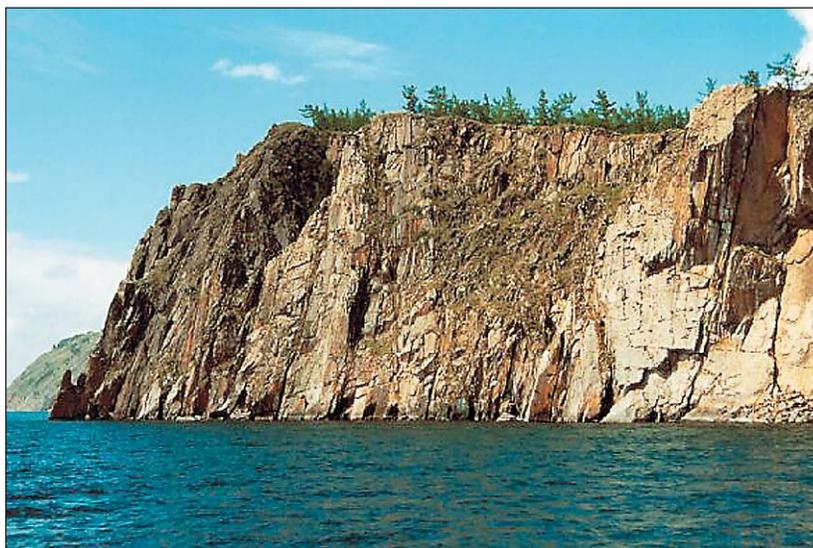
Как и на других морях, в береговой зоне Байкала происходит обмен обломочным мате-

риалом между сушей и глубоководными районами. Знание особенностей процесса формирования и трансформации этого материала имеет и практическое, и теоретическое значение. Оно прежде всего необходимо для разного рода строительных работ, будь то создание портов и берегоукрепительных сооружений, домов отдыха и туристических баз. Кроме того, в целях прогнозирования важна реконструкция развития современной береговой зоны и расшировка условий формирования древних осадочных отложений.

В летний период 2003—2004 гг. мы проводили экспедиционные исследования на западном и восточном побережьях Байкала. Основной целью работ автора этих строк были байкальские пляжи.

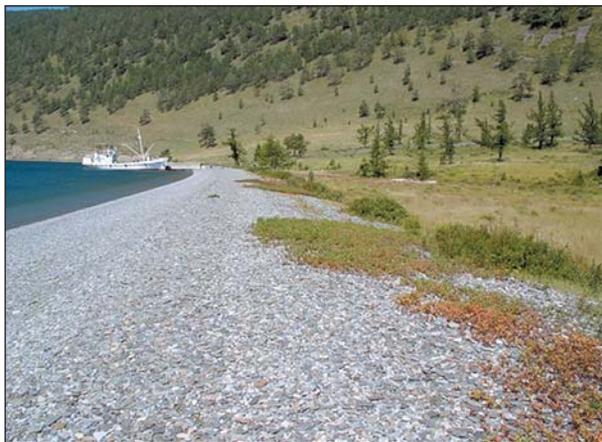
С понятием «пляж» у большинства населения ассоциируется отпускной период, солнце, море и песок. Специалисты же считают современным активным пляжем полосу, располагающуюся между зоной последнего разрушения (забурунивания) волны и вершиной заплеска наибольшего, ежегодно пов-

© Потемкина Т.Г., 2006



Структурно-абразионные берега Байкала, вдоль которых отсутствуют пляжи.

Здесь и далее фото Т.Г.Потемкиной и М.В.Степанцова



Пляжи: полного профиля у мыса Кадильного и неполного профиля в районе р.Ледяной.

торящегося волнения [1]. По форме поперечного профиля различают два типа пляжей. Первый — полного профиля (двухсклонный, свободный) образуется, когда волна перекачивается за гребень берегового вала, и характерен для аккумулятивных пологих берегов. Такой пляж представляет собой распластанный береговой вал перед низменной сушей, как, например, у мыса Кадильный.

Если же пляж формируется у подножия клифа, уступа, то образуется пляж неполного профиля — прислоненный, с одним склоном, обращенным в сторону водоема. Такие пляжи свойственны абразионным берегам, разрушаемым в основном

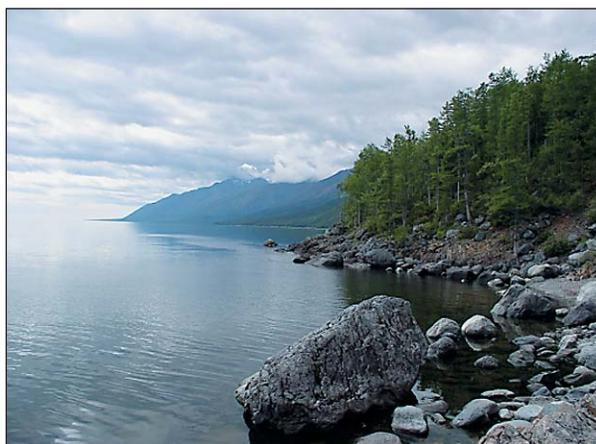
под действием гидродинамических, геологических процессов, а также выветриванием. Источниками материала для пляжей служат твердый сток рек, размыв дна прибрежной зоны, перемещение наносов вдоль берега и эоловый вынос частиц со стороны отмели.

Формирование обломочного материала на пляжах зависит от особенностей строения Байкальской впадины, узкого одностороннего грабена с максимальным погружением фундамента у достаточно крутого западного борта. Здесь средний угол наклона дна подводной части — $30\text{--}35^\circ$, иногда $>60^\circ$, в Северной котловине озера — около 15° [2]. Восточный борт

впадины Байкала сравнительно пологий, средние углы наклона его подводной части $7\text{--}10^\circ$.

Берега западного борта преимущественно высокие, скалистые, отвесные, восточного — относительно низкие и пологие. Что касается основных типов берегов, то их на озере два — уже упомянутые абразионные и аккумулятивные. Первые отличаются приглубостью, узостью мелководий, наличием глыбово-галечниковых пляжей или их отсутствии. Часто у основания клифов наблюдаются скопления обломочного материала осыпей или обвалов. К разновидностям абразионных берегов относят сбросовые, бухтовые, выступающие конусы выносов.

Вести из экспедиции



Валунные пляжи: на мысе Валуکان и у устья р.Ледяной.



Галечниковые пляжи: на п-ове Святой Нос и у мыса Ижимей (с глыбовым навалом).



Валунно-галечниковый пляж в районе устья р.Кочерикова.



Песчаный пляж в бухте Бабушка, оконтуренный береговым обрывом.



Песчаные пляжи: в бухте Безымянной (линии заплесков волн оконтурены выбросами гравия и мелкой гальки) и на перешейке п-ова Святой Нос в Баргузинском заливе (береговые валы намечаются полосами выбросов гравия, мелкой гальки, остатков растений и водорослей).

Аккумулятивные берега распространены на Байкале незначительно. Они представлены пологими участками со сравнительно широкими мелководьями и песчаными пляжами. К ним относят устьевые взморья и дельты некоторых рек соры (заливы), а также берега с развитием эоловых процессов. Аккумулятивные берега приурочены в основном к восточному побережью озера и северо-западному берегу о.Ольхон. Протяженность береговой линии озера около 2000 км, из которых ~80% приходится на подвергающиеся абразии берега, а остальные ~20% — на искусственно укрепленные и аккумулятивные.

Таким образом, строение Байкальской впадины обуславливает особенности формирования обломочного материала в береговой зоне ее западного и восточного бортов. Кроме того, образование и интенсивность накопления наносов в значительной степени зависят от трещиноватости пород, возникающей в результате выветривания, активных тектонических и сейсмических процессов, высокой энергии волнения.

Обломочный материал на пляжах под действием волн в той или иной мере измельчается, истирается, окатывается, сортируется по размеру и форме и отчасти изменяется по составу. В зависимости от размеров наносов байкальские пляжи делят на валунные, галечниковые и песчаные.

Валунные пляжи, которых немного, приурочены главным образом к северо-восточной части Байкала. Здесь скопления валунов наблюдаются в местах выхода в прошлом ледниковых морен к озеру и действия флювиогляциальных процессов. Узкие (1—5 м) валунные пляжи встречаются также в устьях некоторых горных рек и временных водотоков. Среди валунов здесь встречаются отдельные глыбы.

Галечниковые пляжи образуются за счет дробления обло-

мочного материала, поступающего от разрушения берегов, поставки щебня и гальки горными реками и водными потоками, размыва волнами подводного берегового склона (в этом случае они являются переотложенными). Эти пляжи отражают не только современные условия образования, но в некоторой степени и особенности своего первоначального формирования в геологическом прошлом. Переотложенные галечники на пляжах образуются также при разрушении берегов, сложенных древними озерными отложениями с прослоями реликтовых галечников и валунов. При разрушении таких берегов тонкий материал уносится в глубоководные районы озера, а галечный накапливается в приурезовой полосе и пересортировывается волнением по размерности и форме.

Все разновидности галечниковых пляжей, сложенных смешанным по размерности материалом (галечниковые, валунно-галечниковые, гравийно-галечниковые и др.) распространены на Байкале наиболее широко. Обычно они сопутствуют гористым участкам побережья, поставляющим крупный обломочный материал. Галечниковые пляжи в основном узки, средняя ширина их около 10 м. Относительно большей ширины они достигают на некоторых мысах и вблизи устьев рек со значительным твердым стоком грубообломочного материала.

Рельеф галечниковых пляжей представлен береговыми валами. Пляжи *неполного профиля* имеют от одного до четырех береговых валов, но чаще два. Форма валов асимметрична: озерные их склоны довольно крутые, короткие; береговые (направленные в сторону суши) — длиннее, положе, нередко почти горизонтальные. Первый от уреза воды вал высотой 0.5—0.8 м формируется слабым волнением. Во время наиболее сильных волнений формируется второй вал, называемый

штормовым, высота которого около 1.5—2.5 м. Ширина пляжей неполного профиля 2—7 м.

Галечниковые пляжи *полного профиля* имеют три-четыре береговых вала. Высота этих пляжей до 1.5—2 м над урезом воды, ширина около 10—20 м. Формируемый наиболее сильным волнением последний береговой вал — самый высокий и широкий. Он имеет плавные очертания, так как несмотря на значительную силу волнения, энергия заплеска в этой наиболее удаленной от озера части пляжа значительно ослаблена.

Песчаные пляжи распространены преимущественно вдоль равнинных и сравнительно низких участков побережья Байкала. Иногда они оконтурены береговыми обрывами различной высоты, иногда располагаются вдоль песчаных массивов. Обломочный материал на их формирование поступает за счет разрушения береговых обрывов, твердого стока рек, размыва дна подводного берегового склона и эолового выноса частиц со стороны отмели. Песчаные пляжи обычно сопутствуют относительно широкому и пологому мелководью. В связи с этим волны начинают разрушаться вдали от берега и подходят к пляжу уже ослабленными, поэтому строение береговых валов здесь несколько иное. Они значительно хуже выражены, имеют меньшую высоту и обычно очень пологие. Часто на пляжах прослеживаются лишь линии заплесков волнения различной силы, оконтуренные выбросами водорослей, растительными остатками, дрсевой, гравием и мелкой уплощенной галькой.

Ширина песчаных пляжей, расположенных вдоль аккумулятивных берегов, 10—20 м, иногда около 80 м. На них наблюдается обычно три серии береговых валов. Первая — у уреза воды — формируется слабым волнением. Валы (от одного до трех, высотой 0.1—0.3 м) сложены песком или песком, смешанным с гравием и мелкой

галькой. За первой серией мелких береговых валов прослеживается более широкий и высокий, который формируется более сильным волнением. Третий штормовой вал, образуемый самым сильным волнением, иногда представляет собой почти отвесный уступ до 0.4—0.7 м высотой. Его береговой склон горизонтальный или с небольшим наклоном к озеру, на поверхности которого часто произрастают осоки, злаковые, иногда кустики кедрового стланика. Вдоль спокойных, закрытых участков озера с малыми уклонами мелководья береговые валы в рельефе обычно не выражены.

Впрочем, следует отметить, что описанное строение пляжей не всегда четко выражено. Мелкие и более крупные валы то прослеживаются на значительном расстоянии, то сливаются друг с другом.

Распределение обломочного материала на пляжах тесно связано с энергетическим потенциалом волнового потока прибойной зоны. Размерность обломков по профилю пляжей меняется в зависимости от удаленности валов от уреза воды.

На галечниковых пляжах наиболее крупным материалом сложен обычно последний штормовой вал, а самым мелким — вал (или валы) у уреза воды. Если галечниковый пляж, состоящий из одного или двух валов, очень узок, то размерность обломков по его профилю практически не меняется. Морфологические элементы береговых валов сложены разным по крупности материалом: мелкий наблюдается на обращенном к озеру склоне, на береговом склоне — более крупный, а в ложбинах между валами — самый крупный. На песчаных пляжах частицы песка уменьшаются от уреза воды в сторону суши.

Отметим, что на Байкале существуют берега, вдоль которых отсутствуют пляжи. Это в основном коренные отвесные берега, когда массивы твердых пород непосредственно обрываются в море, а обвалившиеся обломки скатываются по подводному склону на глубину.

* * *

Итак, формирование пляжей на озере Байкал в значительной степени определяется общим строением его впадины. Разли-

чия в рельефе побережий, геологическом строении, петрографическом составе пород, особенностях поступления обломочного материала обуславливают развитие разных типов пляжей. Но наибольшее распространение на берегах Байкала имеют галечниковые пляжи и их подтипы. Причем на западном берегу они отличаются своей узостью и крутизной, преобладанием неокатанного или плохо окатанного обломочного материала. Песчаные пляжи в большинстве своем приурочены к районам развития золотых процессов [3]. Это небольшие по протяженности участки восточного побережья Северной и Средней котловин озера, северо-западного побережья о.Ольхон, а на западном берегу Байкала — лишь бухта Песчаная.

Проведенная нами в экспедициях «инвентаризация» пляжей помогает изучать закономерности формирования пляжей, что служит необходимым звеном в понимании процессов динамики обломочного материала, рельефо- и осадкообразования в береговой зоне и в озере Байкал в целом. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 03-05-64887 и 04-05-79006.

Литература

1. Лонгинов В.В. Динамика береговой зоны бесприливных морей. М., 1963.
2. Лут Б.Ф. Геоморфология дна Байкала // Геоморфология дна Байкала и его берегов. М., 1964. С.5—123.
3. Агафонов Б.П. Песчаные золотые потоки из Байкала // Природа. 2002. №5. С.40—44.

Землетрясение 12 сентября 1927 года. Судак

Ю.М.Шокальский

Предлагаемая читателям рукопись Юлия Михайловича Шокальского (5[17].10.1856–26.3.1940) – выдающегося ученого, оставившего глубокий след в океанографии и картографии, метеорологии и гидрологии, лимнологии и истории земледелия, – публикуется впервые. Интерес к ней вызван как масштабом личности автора, так и значимостью события, которому посвящены его строки. Так счастливо совпало, что рукопись была обнаружена в год 150-летия со дня рождения Шокальского и через 80 лет после описанного им события. Несколько фраз о том, как состоялось мое знакомство с рукописью. Работая весной 2006 г. в Архиве Русского географического общества в Санкт-Петербурге, я сосредоточился по роду научных интересов на делах известных сейсмологов (И.В.Мушкетова, А.П.Орлова, А.В.Вознесенского). Перечни их архивных материалов и частью сами материалы были мне известны с 1986 г. Но на этот раз возникли вопросы, снять которые мог только архивный работник. Я и обратился к заведующей Архивом М.Ф.Матвеевой. Она была столь любезна, что просмотрела ряд дел и, кроме того, путеводитель по Архиву. Последний появился позже моей прежней работы в Архиве, и я о нем не знал. Он оказался снабжен тематическим указателем.



Юлий Михайлович Шокальский.

В этом указателе слово «землетрясение» относилось не только к известным сейсмологам, но и к Ю.М.Шокальскому. Об интересе маститого ученого к землетрясениям свидетельствует тот факт, что еще в начале века он вошел в состав сейсмической комиссии Академии наук в качестве постоянного члена от морского ведомства. Удивлял заголовок: «О землетрясении в Судане». В Судане? Шокальский там не бывал, да и землетрясения в тех краях практически не отмечались. Но как только я увидел дату – 1927 год – мелькнула догадка: видимо, речь может идти о землетрясении в Судаке, в Крыму. Именно в это время Шокальский находился там в качестве начальника Черноморской экспедиции. Дело под №277 быстро появилось на рабочем столе и – тут же оказалось: догадка справедлива.

Первое что поразило, – лист использования дела оставался непорочно чист. Дела не читали! Передо мной лежал подлинник, на четырех крупноформатных страницах. Почерк стандартный, крупноразмашистый, но разобрать слова поначалу удавалось с трудом. С третьей попытки начал проясняться не только общий смысл, но и отдельные детали. А соответственно, и значимость рукописи.

Великое дело – архив. И велико дело скромных хранителей архивов. Искренняя благодарность Марии Федоровне Матвеевой.

Еще несколько слов о Шокальском, которые было бы обидно не сказать [1]. Биография его богата разными фактами. Примечателен и, так сказать, ее старт. Детство Юлия Михайловича прошло главным образом в селе Тригорском Псковской губернии, где жила его бабушка Анна Петровна Керн, некогда вдохновившая поэта на стихи «Я помню чудное мгновенье». Другой великий человек, Федор Михайлович Глинка, написал музыку к этим стихам и посвятил свой романс ее дочери, Екатерине Ермолаевне, матери Шокальского. С 12 лет Шокальский живет в Петербурге и дружит с семьей соседа – географа и этнографа И.И.Шопена, брата композитора. В беседах с И.И.Шопеном сформировался его интерес к географии, который определил всю его дальнейшую жизнь.

Дом, в котором мы жили, стоит в 3-х верстах от моря, по восточную сторону шоссе в Феодосию, в 100 саж. от него, в том месте, где шоссе поворачивает к востоку. Все пространство долины от шоссе и до восточного берега долины образует аллювиальную долину, не более 20 м над ур. моря. Шоссе расположено уже немного выше, а за ним к западу идет слегка волнистая местность, повышающаяся к горе Пергели.

Самый дом расположен почти вдоль по параллели и представляет длинный прямоугольник с несколькими поперечными стенами, большей частью — капитальными. Стены сложены из кирпича на известковом растворе. Дом одноэтажный, и комнаты не выше 4 арш., цоколя нет, пол почти лежит на земле. Стены не менее как в 2½ кирпича. Крыша черепичная.

Ориентировка стен дома, длинная стена по параллели, определены на глаз по Полярной звезде.

Ночью с 11 на 12 сент. я спал на кровати с сеткою и тонкими матрацами на ней. Кровать прочная и нерасхлябанная. Она стоит вдоль параллели. Меня разбудило необыкновенно сильное и частое трясение сетки вдоль кровати, т.е. вдоль параллели; столь сильное, что я подумал, что что-то случилось, и меня в испуге будят. Зажег свечу и взглянул на часы, тряска продолжалась, и только тогда я и понял, что это землетрясение. Отсюда я заключил, что трясение продолжалось не менее 15—20 с. По моим часам было 12 ч 20 мин и около 30 с. Часы были поставлены около месяца тому назад по сигналу из Науены [?] с точностью до 10 с и имели ход около 1—1.5 с, могли уйти вперед около 30—45 с.

Сейчас же как прекратились толчки вдоль параллели, и даже немного ранее, раскачалась висячая лампа. Длина подвеса ее около аршина, а амплитуда колебаний была до 30°, не менее. Лампа качалась почти перпен-

дикулярно параллели, вернее от NW к SE. В одной из комнат упала картина.

Через пять минут был повторный удар, опять начавшийся с поперечных волн, мелких и сильных, но много меньшей продолжительности. Лампы снова раскачались, но с мень-

шей амплитудой, хотя и по тому же направлению.

В 1 ч 50 мин ночи был третий удар, слабее, но того же характера.

В 2 ч 30 мин два коротких удара, но небольших.

В 5 ч 25 мин утра еще один (V), но слабый.



Разрушения в Алуште при землетрясении 1927 г. Фото публикуется впервые.

В 8 ч 30 мин утра еще колебание, слабое.

В 3 ч 50 мин дня (12 сент.) слабое колебание.

В 4 ч 15 мин [дня] (12 сент.) [слабое колебание].

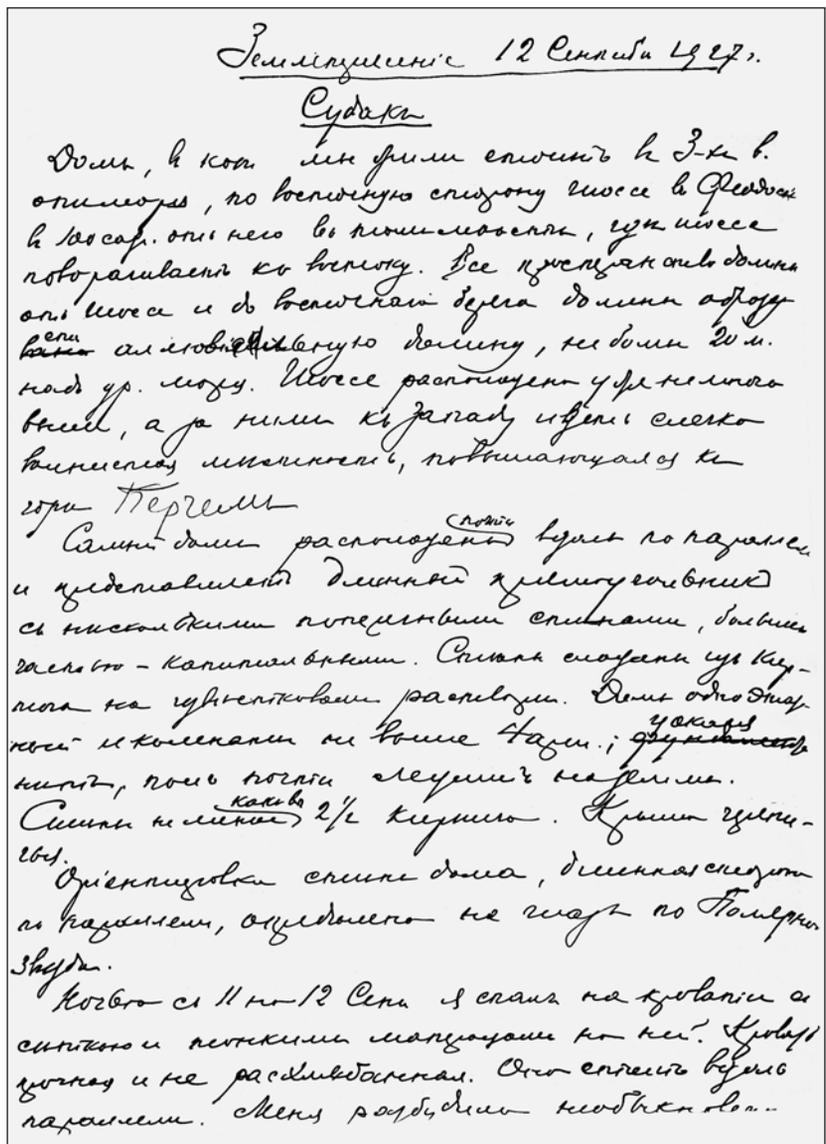
13-е число прошло спокойно, но 14-го в 5 ч 30 мин утра опять было замечено малое колебание находившимися в доме; вне дома оно не было заметно.

В другом доме, расположенном длинными сторонами с ESE на WNW и много менее прочной постройки (низ оч. старый, сложен из плохо пригнанных и нетесанных камней на известковом растворе, а второй этаж из саманного кирпича), пострадали больше. Восточную стену второго этажа выпучило слегка наружу. Одна из труб сорвалась и наклонилась с SE к NW, т.е. по направлению качания лампы. Во втором этаже везде над дверьми — трещины по продолжению обоих косяков. Немного разошлись вдоль стены потолки. Балки пола 2-го этажа, видные хорошо из обширного сарая первого этажа, совершенно не потревожены и нигде не вышли из гнезд.

В одноэтажном доме, о кот. говорилось выше, местами в поперечных внутренних стенах (т.е. почти меридиональных) отошла от кладки штукатурка на значительном расстоянии. Потолок получил трещины, особенно в углах. При IV колебании упала еще картина из угла.

В 3-м доме, в 100 с[аж.] к северу и также ориентированном по параллели, имеющем три арки, поддерживающие верхний балкон, своды дали трещины и около замочного камня, и по краям.

В церкви, в версте расстояния и ближе к морю, своды купола (деревянного, церковь каменная) тоже дали трещины.



Факсимиле страницы из рукописи Шокальского.

Поперечные волны, когда началось землетрясение, были очень сильны и продолжительны. Ощущение их было столь неприятно, как сильная морская болезнь, и не проходило довольно долго, до получаса. Продольные волны, раскачавшие лампу, были мало чувствительны.

При II и IV колебаниях поперечные волны были достаточно заметны; особенно при II-м.

Определяя по шкале Росси—Фореля полагаю силу землетрясения между 7—8 баллами.

Более нервные люди не так легко отделались от неприятного ощущения I толчка и чувствовали последующие сильнее.

Архив Русского
Географического общества.
Ф.44. Ю.М.Шокальский.
Оп.1. №277. С.4.

Значение заметок Шокальского

Заметки

«Природа» была одним из немногих журналов, быстро откликнувшихся на известное сильное Крымское землетрясение 1927 г. статьей А.В.Вознесенского [2]. С тех пор множество журнальных и книжных публикаций об этом выдающемся сейсмическом событии пополнило литературу по отечественным землетрясениям. Возвращался к нему журнал и недавно [3]. Немало опубликовано и свидетельств очевидцев [4]. Что же прибавляют к этому дополнительные страницы из архива? Описание сделано не профессиональным сейсмологом (это случается исключительно редко), но человеком весьма эрудированным, понимающим, на что надо обращать внимание в первую очередь. Именно потому, что отмечены последовательности толчков, время их возникновения, относительная сила, конкретные признаки по собственным ощущениям и «поведению» предметов, повреждения строений, — по всему этому описание Шокальского необходимо расценивать как документ научного значения. И значение это усиливается тем фактом, что до настоящего времени мы обладали лишь единичными свидетельствами очевидцев события с востока Крымского п-ова, а из Судака их вообще не было. В условиях, когда землетрясение не обеспечено записями сейсмографов (таковых в Крыму в 1927 г. не существовало), каждое описание, тем более по-настоящему информативное, приобретает особую важность.

Что же может извлечь из публикуемого текста исследователь-сейсмолог?

Во-первых, теперь мы узнаем, наконец, число и время ощущавшихся в первые дни на востоке Крыма толчков и можем сопоставить эти данные с теми, что зафиксированы вблизи Ялты и Севастополя. Второе — появляется возможность опре-

делить силу основных толчков в Судаке по приводимым характерным признакам, тем более что автор дает описания не для одного, но для нескольких строений, к тому же разной этажности. Согласно Шокальскому, сила первого, основного толчка в Судаке оценена соответственно использованной в то время макросейсмической шкале Росси—Фореля в VII—VIII баллов. Но это преувеличение, конкретные признаки указывают, что сотрясения не превысили VII баллов и отвечают интенсивности VI баллов по нынешней шкале MSK-64. Сила последующих толчков в Судаке не превышала V и IV баллов. Поскольку по времени они сопоставляются с толчками, отмеченными в других пунктах полуострова, можно не только наметить зоны балльности при афтершоках, но и точнее оценить значения их магнитуды.

Наконец, важны указания очевидца на направленность распространения волн, начальных и вторичных, продольных и поперечных (автор записи их путает, что легко мысленно поправить), а это дает возможность предположить, где находились эпицентры толчков. Направления, указанные Шокальским, согласуются с установленными иными способами положением эпицентров — в море, к югу от Ялты.

Таким образом, короткие заметки Шокальского, ставшие доступными специалистам 80 лет спустя после Крымского землетрясения, уточняют наши представления об этом событии. Это было сильное землетрясение, опорное в регионе за несколько столетий, а потому важное для составления сценариев того, что может произойти здесь в будущем.

© Публикация, вступление и комментарий
А.А.Никонова

Литература

1. Андреева Е.В. Ю.М.Шокальский. Океанограф, метеоролог, географ. Л., 1956.
2. Вознесенский А.В. Землетрясения 1927 г. в Крыму // Природа. 1927. №12. С.957—974.
3. Никонов А.А. Крымские землетрясения 1927 г.: неизвестные явления на море // Природа. 2002. №9. С.13—20.
4. Никонов А. Раненый Крым. По следам крупнейших на полуострове в XX в. природных бедствий // Крымский альбом. Феодосия; М., 2003.

Научный путь В.А.Белицера

К 100-летию со дня рождения

Р.П.Виноградова,
доктор биологических наук
Институт биохимии им.О.В.Палладина НАН Украины
Киев

Вникайте в научную проблему с самых последних данных. Не начинайте с Адама и Евы. Работать нужно по-японски — обгонять не догоняя. Начинайте с самых последних результатов.

В.А.Белицер

Почему отмечают юбилеи? Наверное, потому, что они дают почву для раздумий и оценок, помогают восстановить связь времен, вспомнить труды людей, составляющих славу и гордость страны, стиль их мышления и работы, кодекс чести, нравственные правила и интересы как основу для становления новой генерации молодых ученых.

Герой нашего рассказа, которому среди многих ученых XX в. принадлежит открытие основных, наиболее важных биохимических превращений и явлений, — биохимик Владимир Александрович Белицер.

Родился В.А.Белицер 30 сентября 1906 г. в Рязани в семье русских интеллигентов. Отец — Александр Васильевич (1873—1937), по образованию ветеринарный врач, впоследствии известный протозоолог и инфекционист. Он основал кафедру эпизоотологии и инфекционных болезней животных в Ветеринарном институте (ныне Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологий им.К.И.Скрябина) и заведовал ею с 1922 по 1933 г. Мать — Любовь Борисовна (1875—1958) — преподавала французский язык.

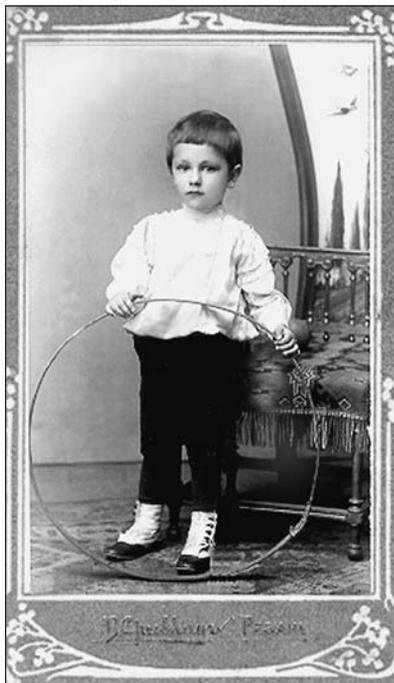


Владимир Александрович Белицер (30.09.1906—04.03.1988)

В 1933 г. А.В.Белицера незаконно арестовали как «члена контрреволюционной организации в сельском хозяйстве...», а в 1937 г. он трагически погиб в ссылке (реабилитирован в 60-е годы). Возможно, лишь благоприятное стечение обстоятельств спасло его сына для науки. Для Владимира Александровича отец всю жизнь был образцом преданности науке, порядочности, высокого кодекса чести. Но страшная трагедия «сына врага народа», потеряв-

шего отца, не покидала его всю жизнь.

Дети в семье (Володя и его старшая сестра Надежда) получили прекрасное домашнее образование. Владимир Александрович хорошо разбирался в мировой литературе, живописи, любил, понимал и остро чувствовал классическую музыку, особенно Рахманинова. В анкете писал: «читаю и могу изъясняться по-английски и по-немецки, читаю по-французски». В юности перед ним стоял вы-



Володе три года.

бор между музыкой и наукой. Он выбрал второе, и, возможно, музыка потеряла не меньше, чем приобрела наука.

После окончания средней школы в Рязани в 1924 г. Володя поступил на биологическое отделение физико-математического факультета 1-го Московского университета, который окончил

в 1930 г. по специальности «физико-химическая биология». Свою первую научную работу по коллоидной химии выполнил еще будучи студентом старшего курса, а влияние нейтральных солей на коллоидное состояние белков изучал в лаборатории С.Н.Скадовского Института экспериментальной биологии, возглавляемом Н.К.Кольцовым.

С 1930 по 1934 г. Белицер работал ассистентом на кафедре общей биологии 2-го Московского медицинского института. Экспериментальные исследования проводил в Институте биохимии им.А.Н.Баха (где работал по совместительству), изучая взаимосвязь между дыхательными и анаэробными процессами в клетках животных.

С 1934 г. судьба его связана со Всесоюзным институтом экспериментальной медицины им.А.М.Горького (ВИЭМ, Москва). Здесь ему удалось раскрыть неизвестные звенья взаимодействия двух процессов, обеспечивающих живые клетки энергией. Он показал, что при анаэробнозе система дыхательных ферментов не разрушается, а энергию клетки получают благодаря гликолизу. Эта работа, а также новые данные относительно частичного замещения

дыхания гликолизом были опубликованы не только в журналах «Успехи современной биологии», «Бюллетень экспериментальной биологии», но и в хорошо известном и авторитетном журнале «Biochemische Zeitschrift» (1932, 1933, 1936).

Уже первые публикации свидетельствовали о появлении в биохимии молодого и талантливого ученого. За пионерные работы в области тканевого обмена Белицеру в 1935 г. присудили научную степень кандидата биологических наук без защиты диссертации, а в 1936 г. присвоили звание профессора. С этого времени для него начинается новый этап научной деятельности. Основным объектом исследований становятся мышцы, точнее происходящие в них биохимические процессы с участием фосфорной кислоты.

Начало «энергетического» направления в биохимии связано с открытием М.Эгглтона в 1927—1928 гг. креатинфосфата (называемого тогда фосфагеном), расщепление которого сопровождается выделением большого количества энергии в мышцах. В 1929 г. К.Ломан в Германии обнаружил в экстрактах скелетных мышц аденозинтрифосфат (АТФ), который почти одновременно выделили из мышц два американских исследователя — С.Фиске и Й.Суббароу. Они считали, что АТФ играет важную роль только при мышечном сокращении. Но в 1941 г. Ф.Липманн предложил обобщающую концепцию, согласно которой АТФ — основной универсальный аккумулятор и переносчик химической энергии в клетках.

Тогда было хорошо известно, что АТФ синтезируется в ходе гликолиза (анаэробного превращения глюкозы в молочную кислоту), и почти ничего не знали об участии АТФ либо иных фосфорных соединений в дыхании, т.е. в процессах, протекающих в кислородной среде. До 1930 г., во времена «гегемонии» молочной кислоты, считалось, что ды-



Мама Любовь Борисовна с детьми — Володей и Надеждой. 1911 г.

хание в мышцах регулирует молочная кислота, содержание которой зависит от интенсивности гликолиза: чем выше концентрация молочной кислоты, тем активнее дышит мышца. В покое слабое дыхание объясняли низким содержанием субстрата дыхания — молочной кислоты. Однако эта гипотеза объясняла далеко не все экспериментальные факты, говорившие, что кроме образования молочной кислоты, в мышцах должны быть и другие процессы, регулирующие дыхание. Именно эти процессы и заинтересовали Владимира Александровича.

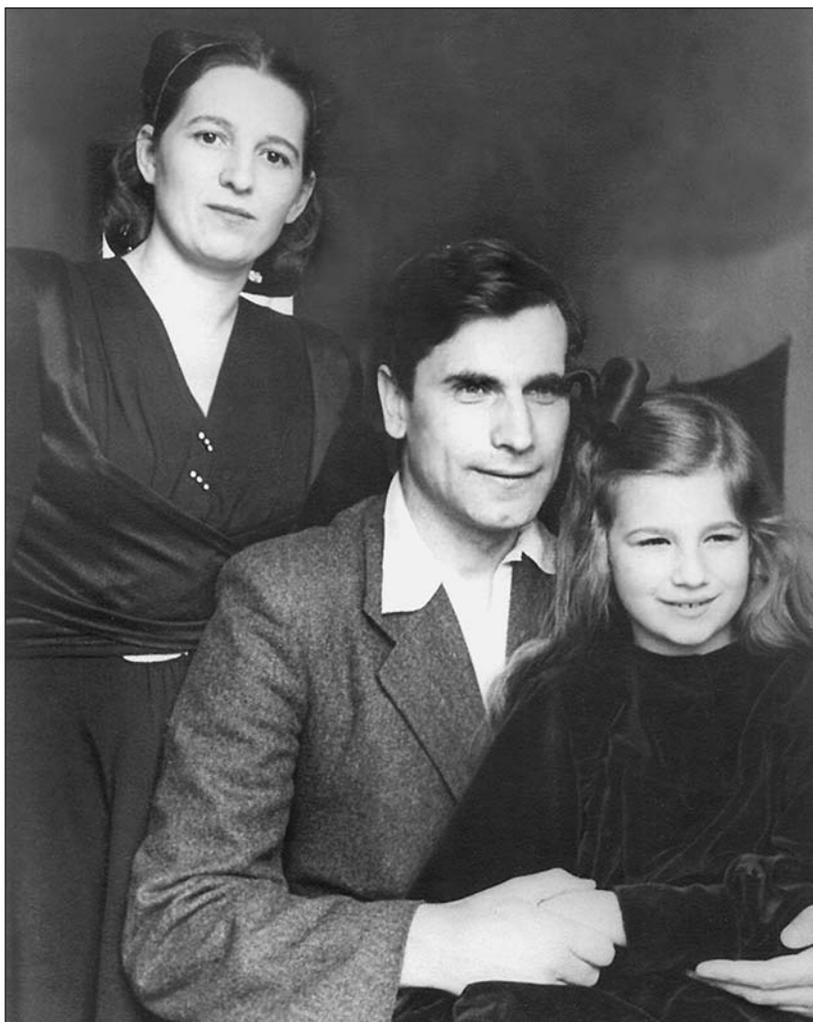
Вместе с группой сотрудников на изолированных мышцах лягушек, а затем на гомогенатах он показал, что расщепление креатинфосфата (КрФ) усиливало дыхание, которое в свою очередь обуславливает ресинтез АТФ и КрФ. В 1936—1938 гг. Белицер выяснил, что, во-первых, в мышцах распад и синтез креатинфосфата происходит только при участии АТФ; а во-вторых, при расщеплении системы АТФ—КрФ содержание аденозинтрифосфата уменьшается только после распада значительного количества креатинфосфата (например, при длительной работе). Образованные при расщеплении АТФ продукты — АДФ и адениловая кислота — благодаря фосфатным группам креатинфосфата быстро фосфорилируются в АТФ, содержание которого остается почти постоянным.

Объясняя этот процесс, Владимир Александрович приводит конкретную современную схему в обзоре «Цикл химических превращений в мышце при аэробнозе» (1937). Он рассчитал, что во время покоя на каждую молекулу поглощенного кислорода образуется 3,2 молекулы АТФ—КрФ, что служит прямым доказательством влияния креатина на мышечное дыхание.

Было также установлено, что дыхание активируется донором или акцептором фосфата и участвует в ресинтезе АТФ—КрФ. Дыхательный синтез фос-



С Е.Т.Цыбаковой во время совместной работы по окислительному фосфорилированию.



С женой Таисией Васильевной и дочкой Натальей. Конец 1940-х годов.



Свои научные работы Владимир Александрович печатал сам. 1948 г.

форных соединений Белицер объяснил тем, что часть промежуточных окислительно-восстановительных стадий дыхания сопряжена с этерификацией неорганического фосфата. Фактически в работе «Роль превращений фосфагена в регуляции дыхания мышечной ткани», опубликованной в журнале «Биохимия» (1938), он впервые описал механизм окислительного фосфорилирования, подчеркивая, что на вероятность активирующего действия креатина (и фосфата) на мышечное дыхание еще в 1932 г. указал В.А.Энгельгардт.

Более обстоятельно механизм фосфорилирования, сопряженный с дыханием, был представлен в совместной работе Белицера и Е.Т.Цыбаковой «О механизме фосфорилирования, сопряженного с дыханием» (Биохимия. 1939). Согласно математическим расчетам, дыхательный коэффициент (отношение КрФ к поглощенному кислороду) в разных опытах составлял 3.8—4.3. Сейчас известно, что в митохондриях окисление молекулы НАДН₂ одним атомом кислорода сопряжено с образованием трех молекул АТФ, т.е. отношение Р : О = 3.

Для ядерных же эритроцитов (по данным Энгельгардта) коэффициент синтеза равен 1. Различие в эффективности дыхания Белицер объяснял тем, что «количество сопряженных с фосфорилированием оксидоредукций дыхания неодинаково для различных клеток».

При полном окислении молекулы глюкозы происходит 12 отдельных актов дегидратации. В результате окисления образуется 36 молекул связанного фосфата, что соответствует экспериментальным данным при изучении эффективности синтеза макроэргов. Белицер установил возможность фосфорилирования, сопряженного с дыханием, при окислении лимонной, α-кетоглутаровой, янтарной, фумаровой, яблочной, молочной и пировиноградной кислот. В ходе этих исследований, сделанных одновременно с открытием Г.Кребса (цикл Кребса), были впервые выявлены энергетические звенья аэробного окисления пирувата. Кребс открыл цикл превращения три- и дикарбоновых кислот, а Белицер экспериментально доказал, на каких именно этапах высвобождается энергия, аккумулируясь в молекулах

АТФ. К сожалению, эта часть его исследований не вызвала адекватной заинтересованности и реакции многих исследователей, а сама работа цитируется главным образом в связи с количественной характеристикой фосфорилирования.

В автобиографии Владимир Александрович пишет: «С 1936 по 1941 г. я с группой руководимых мною сотрудников сосредоточил внимание на ферментной системе энергетического обмена мышечной ткани. Нами было открыто сопряжение переноса электронов в окислительно-восстановительной цепи с синтезом АТФ — вещества, которое используется в организме в качестве энергетического источника при всех активных функциях».

Хотя Белицер впервые предположил, что окислительное фосфорилирование сопряжено с переносом пары электронов по дыхательной цепи от НАД к молекулярному кислороду, долгое время подтвердить эту гипотезу не удавалось. Только в 1949—1950 гг. американский биохимик А.Ленинджер с сотрудниками получили ее экспериментальное доказательство.

Позднее, в 1974 г., Ленинджер в учебнике «Биохимия» напишет: «Идея о наличии сопряжения между фосфорилированием АДФ и аэробным дыханием была впервые высказана в Советском Союзе В.А.Энгельгардтом еще в начале 30-х годов. Убедительные доказательства правильности этой идеи появились, однако, только после 1937 г., т.е. после открытия цикла трикарбоновых кислот. Г.Калкар в Дании и В.А.Белицер в Советском Союзе обнаружили, что при окислении различных промежуточных продуктов этого цикла в тканевых суспензиях, содержащих свежемельчатые ткани печени, почеч или мышц, наблюдается исчезновение содержащегося в среде неорганического фосфора, который обнаруживается в форме различных органических фосфатов, например в фор-

ме АДФ и АТФ, глюкозо-6-фосфата и фруктозо-6-фосфата. В анаэробных условиях или при подавлении дыхания цианидом такого фосфорилирования не происходит. Удалось установить и другой важный факт. С помощью ингибиторов гликолиза (например, фторида) было доказано, что аэробное фосфорилирование не есть результат гликолиза (который сопровождается анаэробным фосфорилированием). Отсюда был сделан вывод, что такое фосфорилирование АДФ сопряжено с дыханием и представляет собой механизм аэробного извлечения энергии из питательных веществ».

По представлению В.П.Скулачева классическую работу Белицера «О механизме фосфорилирования, сопряженного с дыханием» в полном объеме издали в 1965 г. на английском языке в виде специального международного информационного выпуска, посвященного вопросам окислительного фосфорилирования и конечного транспорта электронов. Таким образом, для исследователей всего мира появилась возможность познакомиться с первой фундаментальной работой по биоэнергетике, которая не утратила своего значения и ныне.

Приоритет Белицера в этой области признан мировой наукой. Так, в нобелевской лекции (1978) известный биоэнергетик и автор хемиосмотической гипотезы П.Митчелл назвал работу Белицера и Цыбаковой пионерной в изучении механизмов окислительного фосфорилирования АДФ наряду с работами Г.Калкара, С.Очоа, Ф.Липманна, А.Ленинджера. Механизм окислительного фосфорилирования очень важен и до сих пор полностью не расшифрован. Эфраим Реккер утверждает: «Всякий, кто не запутался в проблеме окислительного фосфорилирования, просто не понял ситуации».

Даже если бы Белицер ничего больше не сделал в науке, его имя навсегда вошло бы в исто-



На 1-м Украинском биохимическом съезде: академики М.Ф.Гуль, Р.В.Чаговец, В.А.Белицер; профессор С.И.Балуев; академик А.В.Палладин. Черновцы. 1965 г.

рию биохимии. Сегодня оно стало хрестоматийным и широко цитируется в учебниках по биологической химии, изданных в разных странах мира.

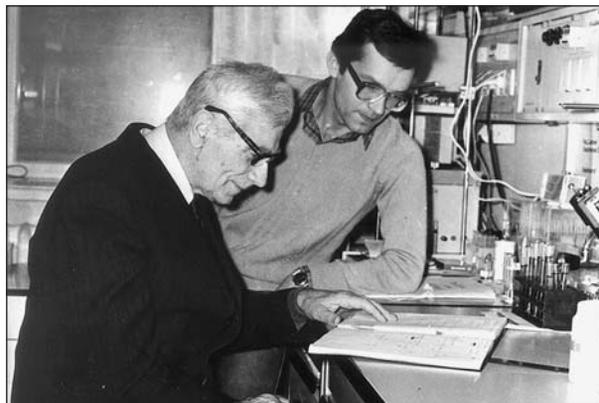
Докторскую диссертацию «Связь дыхания с анаэробными химическими превращениями в мышце» Владимир Александрович защитил 30 января 1941 г. на заседании Ученого совета ВИЭМ, а 10 мая 1941 г. ему присудили ученую степень доктора биологических наук. Но диплом доктора наук Белицер получил только после войны — 30 марта 1946 г.

В октябре 1941 г. Белицер вместе с институтом ВИЭМ был эвакуирован в г. Томск, где работал на базе военного госпиталя. Тогда его интересовали чисто практические вопросы — каким образом лучше консервировать кровь, столь нужную раненым. Удалось выяснить, что добавление глюкозы существенно снижает расщепление фосфорных соединений; высокие концентрации глюкозы задерживают аутолитические процессы, приводящие к старению и гибели эритроцитов (1943). Результаты этой работы были внедрены в практику Центральным инсти-

тутом переливания крови и в качестве рекомендации переданы на все станции переливания крови. Возможно, именно эта работа стимулировала дальнейшие фундаментальные исследования системы свертывания крови.

В 1943 г. после возвращения в Москву Белицер перешел из ВИЭМ в лабораторию физиологической химии Академии наук СССР, где работал старшим научным сотрудником под руководством Я.О.Парнаса, а через год А.В.Палладин предложил ему должность заведующего новой лабораторией ферментов в Институте биохимии АН УССР (Киев), в составе которой тогда было всего четыре сотрудника. С тех пор вся дальнейшая жизнь Владимира Александровича связана с этим институтом.

В Институт биохимии Белицер пришел уже известным специалистом в области биоэнергетики. Еще в студенческие годы Владимиру Александровичу пришлось поработать в лаборатории генетики Н.К.Кольцова, в лаборатории которого проводил первые научные исследования по коллоидной химии белков. На формирование его научного мировоззрения оказали влияние работы таких выдающихся отечественных



Обсуждение результатов: слева — с Т.В.Варецкой, 1985 г.; справа — с Л.В.Медведем, 1986 г.

ученых, как И.П.Павлов, Л.А.Орбели, Н.И.Вавилов, Я.О.Парнас, а также зарубежных: Ф.Липманна, А.Мейергофа, Р.Кори, С.Нейберга, С.Очоа. Ему посчастливилось также работать и общаться в ВИЭМ с известными биохимиками С.Я.Капланским и А.Я.Браунштейном, пользоваться советами В.А.Энгельгардта.

Уже в октябре 1944 г. ученый совет Института биохимии рекомендовал Белицера для избрания в члены-корреспонденты Академии наук Украины. Директор лаборатории физиологической химии АН СССР Парнас прислал отзыв, в котором отмечал: «Белицер В.А., по моему мнению, является одним из самых способных и глубоких исследователей молодого поколения и одним из тех, труды которых всегда оправдывали себя и находили везде положительную оценку... Имя его очень часто цитируют в иностранной литературе».

В конце 40-х и в 50-е годы лаборатория ферментов во главе с Белицером перешла к изучению структуры и специфических функций белков, в частности их денатурации. Тогда в научной литературе не существовало достаточно полного представления ни о нативном, ни о денатурированном состоянии белков. Белицер с сотрудниками показали, что денатурация белков — это разворачивание молекулы с высвобождени-

ем большого количества радикалов, которые в нативном состоянии тесно сгруппированы в упорядоченной структуре белка. В ходе этого процесса происходит разрыв многочисленных нековалентных связей, но ковалентные кислотно-амидные связи сохраняются. Владимир Александрович пришел к выводу, что между нековалентными связями, участвующими в конформационной организации полипептидной цепи, имеется кооперативное взаимодействие, характерное и для денатурационных изменений. Он также предположил существование трех типов превращения белков: модификационные, денатурационные и постденатурационные.

Изучение механизма денатурации белков способствовало разработке нового кровезаместителя из белков сыворотки крови крупного рогатого скота (БК-8): препарат был нетоксичен и сохранял способность поддерживать длительное время кровяное давление. За эту работу в 1955 г. В.А.Белицер и К.И.Коткова получили авторское свидетельство.

Под руководством Владимира Александровича и при его непосредственном участии в 50-е годы выполнены фундаментальные и прикладные исследования в области медицинской энзимологии. Был расшифрован механизм действия и регуляции

ряда протеиназ. Теоретические исследования позволили обосновать применение ферментов в качестве лечебных препаратов и разработать ряд диагностических методов.

Результаты этих работ были представлены в докладе на III Международном конгрессе биохимиков в Брюсселе (1955), который вызвал большой интерес ученых. Владимир Александрович впервые выехал за рубеж и был приятно удивлен тем, что его хорошо знают в биохимическом научном мире, правда, главным образом по работам, посвященным окислительному фосфорилированию. Многие считали, что Белицер уже древний старик, а ему еще не исполнилось и 50 лет. Он был красивый, статный, полный сил, энергии и научных идей. Интересно, что датский биохимик Г.Калкар по приезде в Советский Союз сказал, что в Киеве его интересуют два объекта: Киево-Печерская лавра и Белицер, с которым он и встретился.

В 1960 г. в большой теоретической работе «О структуре белков» Белицер проанализировал состояние знаний (на тот период) о строении белков и пришел к выводу, что в конформации белков есть только два уровня организации — структура полипептидной цепи и макроструктура. Его теоретические и экспериментальные данные по термодинамике, физико-химичес-

ким свойствам аминокислот и белков не утратили своей актуальности и ныне.

Большие успехи были достигнуты и в области протеолитических ферментов (1964–1966). В.А.Белицер и К.Н.Веремеенко на основе экспериментальных данных предположили наличие в крови ингибитора 1, который связывает трипсин. В дальнейшем его выделили из сыворотки крови (он оказался тождествен α_2 -макроглобулину). Полученные данные использовали для разработки метода количественного определения ингибитора 1 в сыворотке крови.

Тогда же предметом пристального внимания Владимира Александровича стало свертывание крови, в особенности его заключительный этап — самосборка волокон фибрина. Эти исследования имели как теоретическое, так и практическое значение. Превращение фибриногена в фибрин и его самосборка (основное в процессе свертывания крови) — это один из примеров самосборки высокоорганизованной биологической структуры. Сначала Белицер сосредоточил внимание на теоретических аспектах. Был расшифрован механизм превращения фибриногена в фибрин. Впервые было показано, что этот процесс включает две фазы — ферментативную и полимеризационную, в каждой из которых возникает центр сборки фибрина. Продукт первой фазы Белицер назвал «мономерным фибрином» или «фибрин-мономером» (термин получил широкое признание в научной литературе). Фибрин-мономер, полученный в чистом виде, длительное время сохранял свои свойства, что позволило изучить его физико-химические параметры, сравнить их со свойствами его предшественника, фибриногена. Выяснилось, что фибрин и фибриноген сходны по макроструктуре, однако фибриноген менее стойкий в кислой среде. В последние годы Белицер занимался домен-

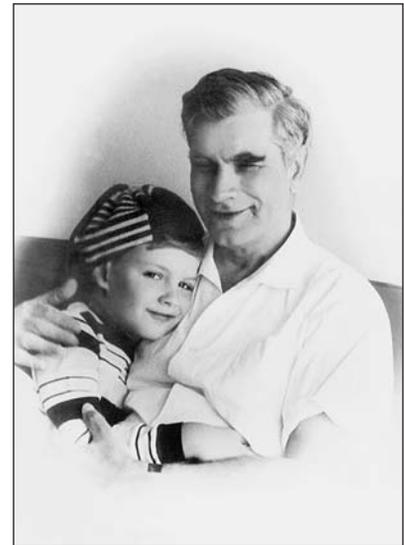
ной структурой фибриногена. На основании литературных и собственных экспериментальных данных и содержащихся сведений он предложил новую модель структуры молекул фибриногена и фибрин-мономера.

За цикл работ по изучению механизма сборки волокон фибрина В.А.Белицеру была присуждена премия им.А.В.Палладина (1982). Государственной премией УССР в области науки и техники отмечен цикл работ Белицера, Т.В.Варецкой и К.Н.Веремеенко под общим названием «Разработка теоретических основ медицинской энзимологии и внедрение ее методов в практику» (1987).

Известно, что нормальное состояние сердечно-сосудистой системы связано с определенным динамическим соотношением фибриноген—фибрин, которое нужно постоянно контролировать при различных сердечно-сосудистых заболеваниях (тромбозах, кровотечениях и др.). Поэтому большое внимание Белицер уделял и вопросам практической медицины. Под его руководством и при непосредственном участии разработаны оригинальные, простые и вместе с тем надежные методы для диагностики нарушений в системе свертывания крови и деятельности сердечно-сосудистой системы. Особо можно выделить метод количественного определения фибриногена, растворимого фибрина и активных фрагментов фибриногена/фибрина в плазме крови, а также метод ранней диагностики отторжения пересаженной почки.

Всестороннее изучение организации, функции фибриногена и фибрина, выполненное Белицером и его школой, стало базой для дальнейших исследований его последователей — продолжателей этого научного направления.

В Институте биохимии АН УССР Владимир Александрович проработал 44 года. Лаборато-



Владимир Александрович с внуком Кириллом. Начало 1970-х годов.

рия ферментов, куда он пришел в 1944 г., в соответствии с тематикой в 1962 г. была переименована в лабораторию белков крови, в 1963 г. — в лабораторию структуры и функции белка, а в 1966 г. реорганизована в отдел структуры и функции белка, который Белицер возглавлял до 1987 г., и последний год жизни был его ведущим научным сотрудником-консультантом.

С 1964 по 1969 г. Белицер — заместитель директора Института биохимии по научной работе, с 1969 по 1972 г. — его директор. Одновременно с научной он занимается и педагогической работой: по совместительству заведует кафедрой биохимии Киевского стоматологического института (1948–1955), где читает нормативный курс биохимии; в 1955–1960 гг. — профессор кафедры биохимии Киевского государственного (ныне национального) университета им.Т.Г.Шевченко, читает специальный курс «Ферменты» для студентов-биохимиков, а также подготовленный вместе с Д.Л.Фердманом нормативный курс «Радиобиология», который был первым не только в Украине, но и во всем Советском Союзе. К педагоги-

ческой работе Владимир Александрович относился очень ответственно. Его лекции содержали не только установившиеся представления, но и новейшие экспериментальные данные и скорее напоминали научные доклады, которые были интересны не только студентам, но и его коллегам.

Творческую, педагогическую и научно-организационную работу Белицер успешно сочетал с общественной деятельностью: он был членом совета Всесоюзного и Украинского биохимических обществ, принимая активное участие в организации съездов. Кроме международного журнала «Trombosis Research» («Исследования тромбозов»), он был членом редколлегии журналов «Успехи современной биологии», «Доклады АН УССР», «Украинский биохимический журнал», «Вопросы медицинской химии».

Плодотворная научная работа Владимира Александровича сочеталась со счастливой личной жизнью. В 1936 г. он женился на Таисии Васильевне Солодовник, которая всю жизнь была его ангелом-хранителем и взяла все домашние заботы на свои плечи. Она была другом, советником, поддержкой в трудные часы непростой жизни ученого, особенно в 1940–1950 гг. Ее обаяние, самоотверженная забота создавали в доме атмосферу согласия и счастья. В 1939 г. родилась дочь Наталья, которую отец обожал, как мог оберегал и помогал в ее становлении ученого, впоследствии доктора биологических наук.

Владимир Александрович был любящим и благодарным сыном. После трагедии с отцом он все заботы о маме взял на себя: Любовь Борисовна постоянно, до последних дней жизни, жила с ним. Он был прекрасным, внимательным семьянином, обожал своих милых женщин — маму, жену и дочь. А как Владимир Александрович радовался и был безмерно счастлив, когда родился внук Кирилл. С внуком он старался проводить

все свободное время, которого было очень мало: с ним он гулял, читал ему детские книжки, провожал в школу.

Владимир Александрович Белицер ушел из жизни 4 марта 1988 г., похоронен на Байковом кладбище (Киев). Он принадлежит к той плеяде ученых, для которых главный смысл жизни — наука. Вся его научная деятельность — это стремление к накоплению и глубокому синтезу знаний. Он постоянно горячо защищал честь, чистоту, идеалы науки, которой полностью посвятил свою жизнь. Требовательность к себе и к коллегам сочеталась у него с огромной работоспособностью, целенаправленностью и творческими порывами. Ему были свойственны большая научная активность, живой творческий интерес ко всему новому, удивительная разносторонность и интуиция, обостренное чувство объективности. Особое внимание Владимир Александрович уделял дискуссионным вопросам в энзимологии. Опубликованные им рецензии всегда были острополюемическими. В дискуссиях проявлялись его фундаментальные знания, невосприимчивость необоснованных выводов и теорий. Он досконально знал научную периодику, всегда был осведомлен о новых научных направлениях в мировой биохимии и активно боролся с ошибочными утверждениями.

Владимир Александрович отличался высокой интеллигентностью, деликатностью по отношению к коллегам, ученикам и знакомым. Все, кому посчастливилось общаться с ним, отмечали его высокое благородство, которое проявлялось в каком-то внутреннем свете. Он умел ценить любой чужой труд, достоинство, личность и недаром любил вспоминать одну шутку академика Энгельгардта. Тот однажды подвез какого-то человека на машине, которую вел сам, и получил «вознаграждение» — один рубль. Потом говорил: «возмож-

но, единственный раз в жизни знал, за что именно получил деньги». Понятно, что это была шутка, но шутка — удачная. Сам Владимир Александрович рассказывал, как, получив первую в жизни зарплату, он пошутил: «Как, я получаю удовольствие от работы, а мне еще и платят?!».

Безупречная порядочность, научная преданность, принципиальность, глубина, новизна и оригинальность биохимической логики — характерные черты Владимира Александровича Белицера. Талантливый ученый, высокообразованный, с широкими научными интересами, он стал одним из основателей функциональной биохимии, расшифровал неизвестные механизмы биоэнергетики и формирования надмолекулярных структур белков.

Самая лучшая память об ученом — это его ученики, продолжающие начатое им дело. Владимир Александрович много сил и энергии каждодневно отдавал подготовке молодых специалистов, научной смене. Он создал свою школу благодаря большому терпению, настойчивости, обширному багажу знаний, широкому кругозору, умению планировать работу, определять цель и пути ее достижения, побуждать к интересной работе молодежь и своевременно ее поддерживать. Он учил молодых сотрудников постоянно заботиться о чистоте и достоверности экспериментов, быть стойкими и терпеливыми, уметь преодолевать трудности, переживать неудачи в научных поисках, находить и в отрицательных результатах важные научные позитивы. Сегодня научная школа Белицера — это почти 50 коллег и сотрудников, которые работали с ним в разные годы и сегодня продолжают его дело в трех отделах Института биохимии (структуры и функции белка, молекулярной иммунологии, химии и биохимии ферментов), а также в других учреждениях Украины, России и дальнего зарубежья. ■

Новости науки

Астрофизика

Еще один гамма-всплеск совпал со сверхновой

Среди возможных объяснений природы гамма-всплесков длительностью порядка минуты и более сейчас лидирует гипотеза об их связи со вспышками сверхновых. К несчастью, до сих пор надежно наблюдать гамма-всплеск одновременно со вспышкой сверхновой ученым удалось лишь однажды — в апреле 1998 г., хотя менее уверенные совпадения наблюдались и после этого¹. И вот — новое совпадение.

Космический гамма-телескоп «Swift» (НАСА) зафиксировал всплеск жесткого излучения GRB 060218 в созвездии Овна 18 февраля 2006 г. Менее чем через 3 мин были определены координаты всплеска: вспомогательный УФ-телескоп «Swift» навелся на нужную точку и обнаружил затухающее послесвечение². Вскоре к его наблюдениям подключились телескопы по всему миру.

С самого начала стало ясно, что всплеск необычен. Прежде всего, он длился около 30 мин, т.е. в 100 раз дольше, чем обычные длинные гамма-всплески. Некоторые ученые высказывали предположение, что это и не гамма-всплеск вовсе, а послесвечение какого-то другого объекта, расположенного внутри Млечного Пути. Но последующие наблюдения на многочисленных наземных телескопах позволили связать это послесвечение с небольшой галактикой, удаленной от нас на 470 млн св. лет. Такое расстояние слишком

велико, чтобы на нем в этом диапазоне можно было разглядеть что-то кроме гамма-всплеска. И все же GRB 060218 оказался намного ближе почти всех остальных всплесков, за исключением одного, о котором речь пойдет ниже.

Новый поворот в исследовании этого всплеска относится к 21 февраля 2006 г., когда А.Содерберг (A.Soderberg; Калифорнийский технологический институт, США) и ее коллеги с помощью 8.1-метрового телескопа «Gemini-South» (Чили) обнаружили сверхновую SN 2006aj, координаты которой в пределах точности совпали с координатами гамма-всплеска. К этому времени свет сверхновой уже затмил затухающее послесвечение гамма-всплеска.

Как уже отмечалось, наблюдать сверхновую одновременно с гамма-всплеском удалось лишь однажды — 25 апреля 1998 г., когда всплеск, обнаруженный итало-датским спутником «Верро-SAX», наложился на вспышку сверхновой SN 1998bw. Их совпадение стало одним из решающих доказательств в пользу того, что длинные гамма-всплески связаны со сверхновыми. Всплеск 18 февраля 2006 г. стал новым свидетельством в пользу той же гипотезы.

У обоих событий много общего. Во-первых, апрельский всплеск тоже был очень близок, точнее, еще более близок — расстояние до него составило всего 120 млн св. лет. Во-вторых, оба события оказались довольно «тусклыми» по сравнению с другими длинными гамма-всплесками — их энергия в 10–100 раз уступает энергии большинства наблюдавшихся явлений (несмотря на длительность февральского события 2006 г.). Если бы подобные взрывы

произошли на расстоянии в миллиарды световых лет, наблюдать их было бы невозможно. Это открытие заставляет предположить, что мощные всплески, фиксируемые практически по всей Вселенной, представляют собой лишь «верхушку айсберга». На самом же деле существует более многочисленное население всплесков низкой светимости, которые удается заметить, только если они происходят относительно рядом.

Согласно распространенной модели, длинные гамма-всплески наблюдаются, когда ядро массивной звезды коллапсирует, образуя черную дыру или нейтронную звезду. Падающее вещество звезды закручивается в аккреционный диск вокруг коллапсара. При этом магнитное поле фокусирует часть вещества диска в два противоположно направленных джета, бьющих вдоль оси вращения с околосветовой скоростью. Гамма-излучение генерируется ударными волнами внутри джетов, а сама звезда взрывается как сверхновая типа Ib или Ic. Эти типы вспышек характеризуются отсутствием линий водорода в спектре сверхновой, по-видимому, потому, что богатые водородом внешние слои были сорваны звездным ветром, предшествовавшим взрыву. Сверхновые SN 1998bw и SN 2006aj имеют тип Ic, что согласуется с моделью коллапсара.

Но остается без ответа важный вопрос: почему некоторые сверхновые типа Ib или Ic сопровождаются гамма-всплесками, а другие — нет? Ключом к решению вопроса может стать вращение: если до коллапса звезда вращалась с высокой скоростью, то в момент взрыва часть ее вращательной энергии могла каким-то образом передаться джетам, обусловив возникнове-

¹ Виле Д.З. Гамма-всплески — взрывы сверхновых? // Природа. 2003. №7. С.76–77.

² <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0603686>

ние яркого гамма-всплеска. Предшественниками слабосветящихся гамма-всплесков, подобных событиям апреля 1998 г. и февраля 2006 г., могли быть медленно вращавшиеся звезды, у которых большая часть энергии коллапса ушла на вспышку сверхновой.

© **Вибе Д.З.**,

доктор физико-математических наук
Москва

Планетология

Уран окружен синим кольцом

Сейчас уже хорошо известно, что не только Сатурн, но и другие планеты-гиганты окружены кольцами. Одно из таких колец вокруг Урана заставило ученых пересмотреть взгляды на эволюцию сатурнианских колец.

В декабре 2005 г. американцы М.Шоултер (M.Showalter) из Института SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence — Поиск внеземного разума) и Дж.Лизауэр (J.Lissauer) из Исследовательского центра им.Эймса НАСА сообщили об открытии с помощью космического телескопа «Hubble» двух новых колец и двух новых спутников Урана. Последующий анализ показал, что самое внешнее кольцо (уже тринадцатое по счету в системе Урана) видно на снимках в оптическом диапазоне, но отсутствует на инфракрасных фотографиях. Это означает, что максимум энергии в излучении, рассеиваемом кольцом, приходится на синюю область спектра. По всей видимости, синее кольцо Урана состоит из частиц субмикронных размеров, в отличие от красноватых больших колец, которые сформированы более крупными частицами.

Внутри синего кольца вокруг Урана вращается одна из новооткрытых лун этой планеты — Маб. Такая конфигурация немедленно напомнила ученых о системе Сатурна, где один из его спутников — Энцелад — также обращается вокруг планеты внутри кольца Е, которое тоже имеет синий цвет и состоит из микроскопических частиц.

В системе Сатурна источником частиц считался сам Энцелад: недавно обнаруженное на этом спутнике некое подобие вулканической активности может приводить к заселению его орбиты выброшенными с него пылинками и мелкими льдинками¹. Две эти пары спутник—кольцо настолько похожи друг на друга, что заставляют предположить общность их эволюции. Но вулканическая гипотеза проходит только для Энцелада. На крохотной Маб ничего подобного происходить не может.

Иде Патер (I.de Pater; Калифорнийский университет, США) и его коллеги считают, что происхождение пар спутник—кольцо в системах Урана и Сатурна действительно одинаковое, но источником вещества колец даже в случае Энцелада является не вулканическая активность. На самом деле вещество выбивается с поверхности обоих спутников при падениях метеоритов. Крупные частицы выстраиваются вдоль орбит спутников и в конце концов падают обратно на поверхность, поведение же мелких частиц оказывается более сложным. Под суммарным воздействием давления солнечного света, магнитного поля и особенностей гравитационного потенциала они рассеиваются по большему объему, и поэтому спутники неспособны собрать их. Результат — широкое кольцо частиц с диаметрами порядка 0.1 мкм. Пока детальная модель этого процесса построена только для Сатурна, но ученые уверены, что в системе Урана действует тот же механизм.

Science. 2006. V.312. №5770. P.92 (США).

Физика

Сверхпроводящий графит

Предпринимавшиеся ранее неоднократно попытки перевести графит в сверхпроводящее состояние путем его легирования различными химическими элементами к успеху не приводили: максимум, чего удалось добиться, — это сверхпроводимость при $T_c < 1$ К¹

¹ Сурдин В.Г. Вода на Энцеладе, спутнике Сатурна // Природа. 2006. №7. С.79—81.

при использовании калия и натрия². И вот недавно английские физики³ обнаружили, что внедрение между графитовыми слоями атомов иттербия или кальция приводит к образованию сверхпроводящих соединений с $T_c = 6.5$ и 11.5 К соответственно. Резистивный сверхпроводящий переход очень узкий (около 0.5 К) и сопровождается эффектом Мейснера. Роль атомов Yb и Ca заключается в том, что они поставляют в графитовые слои свободные носители заряда.

Интересно, что авторы предыдущих работ, не преуспевшие в повышении T_c , пытались как можно больше увеличить расстояние между слоями графита, а в C_8Ca данный показатель оказался меньшим, чем в C_8K . В этом проявилось отличие легированного графита от семейства сверхпроводящих фуллеренов A_3C_{60} (А — щелочной металл), где T_c падает при уменьшении межкластерного расстояния.

Выявившаяся в экспериментах низкая анизотропность длины когерентности (от слоистого сверхпроводника можно было бы ожидать гораздо большей) говорит о весьма сильном когерентном взаимодействии между графитовыми слоями.

Механизм сверхпроводимости еще предстоит установить. Пока на роль спаривающих бозонов претендуют фононы и акустические плазмоны⁴. Новые экспериментальные данные о сверхпроводимости графита требуют переосмысления многочисленных противоречивых сообщений о сверхпроводимости пучков многостенных углеродных нанотрубок. Надлежащее легирование нанотрубок позволит, возможно, добиться очень высоких критических температур.

http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5_21/index.htm

² См. также: Сверхпроводимость композита графит—сера // Природа. 2001. №8. С.65.

³ Weller T.E. et al. // Nature Phys. 2005. V.1. №1. P.39—41.

⁴ Csanyi G. et al. // Nature Phys. 2005. V.1. №1. P.42—45.

Физика

Квантовая криптография

В Институте физики полупроводников СО РАН (Новосибирск) проведены первые эксперименты по квантовой криптографии с одиночными поляризованными фотонами, которые показали, что этот метод позволяет уверенно фиксировать подслушивание в канале связи.

Однофотонные (со средним числом фотонов 0.1–0.2) импульсы получали, ослабляя излучение полупроводникового инжекционного лазера и снижая таким образом вероятность двухфотонных и трехфотонных импульсов до пренебрежимо малой величины. Однофотонными детекторами служили специально отобранные лавинные фотодиоды.

Протокол секретной квантовой коммуникации был устроен следующим образом. Передающая сторона («Алиса») готовила фотоны в двух неортогональных друг другу базисах (направление поляризации первого 0 и 90°, второго — 45 и –45°) и посылала серию случайным образом поляризованных фотонов принимающей стороне — «Бобу». Тот, измерив поляризацию фотона в случайно выбранном (но известном ему) базисе, сообщал «Алисе», в каком именно, а «Алиса» по открытому каналу связи подтверждала или опровергала правильность базиса. Оставляя только события с одинаковым у «Алисы» и у «Боба» базисом, можно было передать информацию, из которой потом формировался секретный ключ.

Все, что может сделать подслушивающая сторона («Ева»), — это измерить характеристики перехваченного фотона и, чтобы утечка была незаметна, послать в канал другой. Но он не может совпасть с исходным, поскольку в процессе измерения состояние исходного фотона изменяется. Поэтому-то подслушивание и становится заметным: его можно зафиксировать по значительному несовпадению секретного ключа,

сформированного независимо у «Алисы» и у «Боба».

Журнал технической физики. 2005. Т.75. Вып.6. С.54–58;
http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5_04/index.htm

Организация науки. Физика

Рост инвестиций в нанотехнологии

В 2005–2008 гг. США инвестируют в области науки, связанные с изучением различных наноструктур и нанотехнологий, около 3.7 млрд долл., Япония — 3 млрд долл.; Европейская комиссия предполагает выделить на выполнение VII Рамочной программы по научно-исследовательским разработкам (2007–2013 гг.) до 7.5 млрд долл. (для сравнения: на VI Рамочную программу были утверждены затраты в 1.7 млрд долл.).

Все больше средств в эту область вкладывают и развивающиеся страны: Китай выделил около 240 млн долл. на 2003–2007 гг., Бразилия — более 25 млн долл. на 2004–2007 гг., Индия — 23 млн долл. на 2004–2009 гг., Аргентина — 10 млн долл. на ближайшие пять лет. Южная Африка за последний год инвестировала в наноразработки 6 млн долл.; Чили и Мексика финансируют скромные, но перспективные нанопрограммы. В Таиланде и Филиппинах также понимают важность вложения денег в эту область и выделяют на нее часть своих скудных научных бюджетов.

Скромные по сравнению с Западом инвестиции дают, тем не менее, хорошие результаты. Так, в международных научных журналах в 2004 г. китайские ученые опубликовали больше статей по наноисследованиям, чем ученые США. По нанопатентам КНР в настоящее время занимает третье место в мире после США и Японии, а по числу публикаций на эту тему Китай и Индия вошли в первую десятку стран.

Ряд развивающихся стран считает науку и технологию важными составляющими стратегии своего экономического развития. Так,

от 1.1 до 1.2% ВВП выделяют на них Китай (бюджет Национального фонда поддержки естественных наук КНР вырос с 10 млн долл. в 1986 г. до 300 млн долл. в 2003 г.), Индия (в основном это вложения в разработку и применение информационных технологий), Бразилия (где число докторов философии в широкой области научных дисциплин ежегодно возрастает примерно на 7 тыс.).

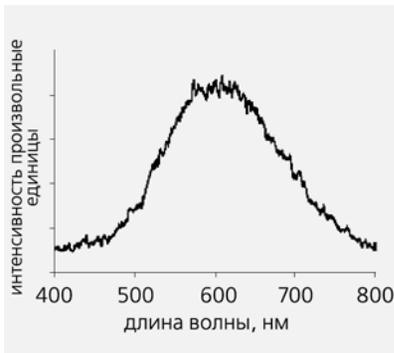
Рост инвестиций в науку в этих государствах сокращает разрыв между ними и развитыми странами, но увеличивает пропасть между передовой группой развивающихся стран и большинством наиболее отсталых и бедных. Сегодня условия наноисследований в Китае, Индии, Бразилии и ЮАР больше похожи на европейские, японские и американские, чем, например, на условия в Руанде, Лосе или Доминиканской Республике. Чтобы не усугублять это неравенство, необходимо создавать нанотехнологические центры в отсталых регионах, информационные сети между университетами и исследовательскими центрами стран с разным уровнем развития, а также поддерживать исследовательские проекты, нацеленные на решение исключительно важных для развивающихся стран проблем — обеспечение безопасной питьевой водой и разработку дешевых эффективных источников возобновляемой энергии.

Science. 2005. V.309. №5731. P.65–66;
http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/5_19/index.htm

Электроника

Кремниевые наноизлучатели — гонка продолжается

Большой интерес к наноразмерным электрическим источникам света вызван возможностью их использования в микроэлектронных устройствах, например для оптической разводки на микросхемах. Применение нанопроводов и нанотрубок в межсоединениях обычно сдерживается трудностью формирования электри-



Спектр электролюминесценции кремниевых нанопроволок.

ческого контакта с ними. Конечно, самым перспективным материалом для электросветоизлучающих устройств мог бы стать кремний — благодаря возможности интеграции устройств на его основе с другими электронными схемами. Электролюминесценция обнаружена на пористом Si; на аморфных кремниевых пленках; на кремниевых нанопроволоках, содержащих дефектные состояния, дислокации и поверхностные состояния; а также на Si, легированном ионами эрбия. И хотя использование кремния затруднено из-за сложной конфигурации запрещенной зоны этого элемента, электроизлучатели из него уже создаются.

Американские исследователи использовали жгуты (диаметром ~20 нм) из тонких (диаметром 3–4 нм) нанопроволок, полученные каталитическим разложением дихлорида (Si₂H₆) на позолоченной поверхности¹. Промежутки между жгутами методом послойного атомного напыления заполняли оксидом гафния с диэлектрической проницаемостью, равной примерно 21. Общая толщина полученного активного слоя составляла 1,5 мкм. Спектр излучения сконструированного устройства аналогичен спектру пористого кремния. Яркость, электрические и спектральные характеристики такого источника света можно существенно улучшить доработкой структуры, получением более тон-

¹ Decker CA, Solanki R, Freeouf JL et al. // Appl. Phys. Lett. 2004. V.84. №8. P.1389–1391.

ких и однородных по диаметру нанопроволок и их ориентацией перпендикулярно поверхности.

http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4_24/index.htm

Зоология. Генетика

Географический партеногенез у островных насекомых

В последние годы возрастает интерес исследователей к особенностям экологической генетики островных популяций разных групп животных, так как именно на них проще всего проследить закономерности микроэволюционных процессов.

Изучение цикадок из рода *Empoasca*, обитающих на фаунистически связанных с Европой островах Атлантического океана (Мадейре и Канарских о-вах), показало, что здесь обитает девять видов этого рода, три из которых представлены только самками². В то же время в схожих биотопах Европейского континента обнаружено 11 афимиктических видов рода *Empoasca* и ни одного партеногенетического. Иными словами, цикадки, размножающиеся однополым способом, обитают только на островах, и там на их долю приходится треть видового разнообразия данного таксона. Такое распределение разных способов размножения у представителей рода *Empoasca* полностью соответствует современной модели географического партеногенеза. Она заключается в том, что однополые таксоны занимают периферию видовых ареалов, где гибридизация и конкуренция с бисексуальными популяциями не препятствует установлению и распространению однополых (женских). Именно в таких условиях возрастает вероятность проявления эффекта основателя, когда локальная популяция обязана своим происхождением всего одной самке.

Хорошо описывается моделью географического партеногенеза

² Aguin-Pombo D, Kuznetsova V, Freitas N. // Journal of Heredity. 2006. V.97. №2. P.171–176.

и ситуация со стрекозами *Ischnura bastata* (этот вид широко распространен на восточном побережье США, встречается в Центральной и Южной Америке, островах Карибского моря, на о-вах Галапагос, Азорских о-вах)³. Долгое время считалось, что стрекозы — единственный отряд насекомых, которому несвойственно девственное размножение. Однако недавно выяснилось, что на Азорских о-вах за всю более чем вековую историю изучения *I. bastata* ни разу не встретилась ни одна особь мужского пола. Чтобы понять, случайность это или закономерность, исследователи изучили девять поколений лабораторной популяции этого вида, основателями которой послужили особи с Азорских о-вов. Все 1900 выращенных особей оказались самками.

Азорские о-ва — архипелаг из девяти вулканических островов, расположенных приблизительно в 1500 км от европейского побережья и 3900 км от берегов Северной Америки. Как здесь появились партеногенетические популяции *I. bastata*, пока не очень понятно. Возможно, стрекозы колонизировали Азорские о-ва самостоятельно: способность особей этого вида к дальним миграциям подтверждается тем, что они попадались в специальные самолетные ловушки на высоте 300 м. Однако вполне вероятен и случайный занос *I. bastata* человеком.

Предстоит выяснить, положила ли начало популяции партеногенетическая особь-основатель или же девственному размножению способствовали местные условия. Некоторые обстоятельства косвенно свидетельствуют в пользу последней гипотезы. Во-первых, у других видов стрекоз тоже отмечена предрасположенность к однополому размножению (так, искусственное стимулирование к партеногенетическому развитию неоплодотворенных яиц *Stylrus oculatus* приводило к успеху в 20% случаев; правда, вылупившиеся личинки были

³ Cordero Rivera A, Lorenzo Carballa M.O, Utzeri C, Vieira V. // Odonatologica. 2005. V.34. №1. P.1–9; Sherratt T.N, Christopher D. // Nature. 2005. V.435. P.1039–1040.

нежизнеспособны). Во-вторых, большинство популяций *Ibastata* на Азорских о-вах обнаружено на относительно большой высоте над уровнем моря (в среднем 640 м), что отражает характер расположения водоемов на архипелаге, но не соответствует предпочтениям этого вида в расселении (природные условия, отличающиеся от обычных, могут активизировать партеногенетическое развитие неоплодотворенных яйцеклеток). В третьих, известны случаи полного вымирания популяций *Ibastata* в отдельных водоемах в результате случайных флуктуаций окружающей среды (в таких случаях девственное размножение может оказаться критически важным признаком, обеспечивающим выживание популяции). Сочетание перечисленных обстоятельств — классический набор факторов, способствующих закреплению однополого размножения в ряду поколений животных, обитающих на краю видового ареала.

© Виктор А.Г.,
кандидат биологических наук
Москва

Физиология

Мочевина как криопротектор у лягушки

Роль мочевины как вещества, защищающего ткани разных животных от нарушения осмотического баланса, хорошо известна. Американские зоологи Дж.Констанцо и Р.Ли-мл. (J.Constanzo, R.Lee-Jr.; Университет Майами, Оксфорд, штат Огайо), изучавшие зимующую на суше древесную лягушку *Rana sylvatica*, обнаружили новую важную функцию мочевины: для этого животного она служит криопротектором, обуславливающим его устойчивость к заморозанию. *R.sylvatica* обитает в лесах Аляски, где нередки и засухи, и морозы. Осенью и в начале зимы, когда влажность почвы невысока, лягушки этого вида в природных условиях накапливают в тканях мочевину до 65 ммоль/л; когда же влаги становится больше,

этот показатель падает примерно до 2 ммоль/л.

Лабораторные исследования показали, что в достаточно сухих и теплых условиях *R.sylvatica* могут накопить 90 ммоль/л мочевины и более. Во время экспериментального замораживания животные синтезировали глюкозу, но в избытке мочевину не накапливали. Тем не менее уровни обоих веществ в некоторых тканях были сопоставимы.

Способность мочевины защищать лягушку при заморозании исследователи проверили экспериментально — измеряя лизис эритроцитов и утечку из них лактатдегидрогеназы после замораживания и оттаивания эритроцитов в среде с физиологическими концентрациями мочевины и других осморегуляторов. Оказалось, что мочевина по эффективности сравнима с хорошо известными криопротекторами — глицерином и глюкозой. К тому же обработка мочевиной замороженных *in vitro* интактных тканей лягушки повышает их жизнеспособность — это показали измерения их метаболической активности и утечки лактатдегидрогеназы после размораживания.

Journal of Experimental Biology. 2005. V.208. P. 4079—4089 (Великобритания).

Геохимия. Экология

Тяжелые металлы в донной фауне океанов

В 1977 г. в Галапагосской рифтовой зоне с помощью подводного аппарата «Алвин» был открыт принципиально новый тип существования донных организмов, функционирующих на основе бактериального хемосинтеза и метанотрофии¹. Для выживания в экстремальных условиях предельно высоких концентраций восстановленных соединений — сероводорода, метана, водорода, а также целого ряда тяжелых металлов — гидротермальные донные сообщества адаптировались, регулируя уровни внутриклеточного содержания ме-

¹ Сагалевич АМ, Москалев ЛЛ. Хемобиос на дне Тихого океана // Природа. 1991. №5. С.33—40.

таллов путем выделения и/или преобразования ионов металлов в их нетоксичные формы. Из-за своего несомненного влияния на природные процессы гидротермальные экосистемы, и в частности донные сообщества, представляют большой интерес для ученых разных специальностей — от микробиологов и биохимиков до геологов и астробиологов.

Сотрудники Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН Л.Л.Демина и С.В.Галкин анализируют и систематизируют материалы по накоплению тяжелых металлов в различных органах и тканях облигатных обитателей гидротермальных донных сообществ с учетом трофической структуры.

Образцы исследуемой донной фауны были взяты с борта глубоководных обитаемых аппаратов «Мир-1» и «Мир-2» на гидротермальных полях высокоспредиговых хребтов Тихого океана и низкоспредиговых хребтов Атлантики. Анализу подверглось 60 проб отдельных органов, мягких тканей и раковин двустворчатых и брюхоногих моллюсков, хитин и панцири крабов, а также трубки и трофосомы вестиментифер. Концентрации металлов измерялись атомно-абсорбционным методом на спектрометрах КВАНТ-2А (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb) и КВАНТ-Z.ЭТА (Ag, Cd, Co, Cr, Ni, Hg) после кислотного разложения образцов. Удалось выяснить, например, что трофосома вестиментиферы *Riftia pachyptila* содержит высокие концентрации Fe (523.5 мкг/г с.в.), Cu (55.6), Pb (32.4), превышающие в 5—100 раз содержание этих металлов в других организмах. В хитине ног крабов *Bythograea* sp. и *Segonzacia mesatlantica* отмечено наибольшее количество Ni (195 мкг/г), а также Fe (730), Cd (14.7) и As (128). В жабрах двустворчатого моллюска *Bathymodiolus thermophilus* найдено высокое содержание Zn (260 мкг/г), а в раковине двустворчатого моллюска *Leda* определено максимальное содержание Ag (15 мкг/г).

Тезисы XVI Международной конференции по морской геологии «Геология морей и океанов». М., 2005. Т.1. С.274—275.

Приливы и другие длинные волны

Приливо-отливные колебания уровня и течений в океанах и морях — одно из самых изученных явлений в океанологии. Однако в связи с новыми теоретическими разработками, развитием вычислительной техники и повышением требований к безопасности мореплавания исследования приливов остаются актуальными. Некоторые прикладные вопросы, например определения нуля глубин, наименьшего теоретического уровня и наибольшей амплитуды приливов в различных районах, изучаются уже более 100 лет, но нуждаются в уточнении. Прежде использовались короткие серии измерений, гармонические постоянные вычислялись для немногих элементарных волн, практически не учитывались гидрометеорологические условия и их изменчивость. Ныне наименьший теоретический уровень, т.е. один из основных параметров, определяющих требуемую точность глубин и положения береговой черты на морских навигационных картах, вычисляется не только по продолжительным измерениям в пунктах наблюдений, но и по информации со спутников. Для вычислений теоретического уровня и наибольшей амплитуды приливов используются уточненные формулы и гидродинамические уравнения, реализуемые на современных персональных компьютерах.

Практические результаты получены в различных портах США за 1855—2000 гг. Предвычисления производились почти по 150 составляющим волн, тогда как в начале XX в. использовались только 11 составляющих. Достигнута точность в пределах нескольких сантиметров. Предложен простой метод оценки точности по сумме амплитуд всего спектра гармонических составляющих прилива. Учитывается пространственно-временная изменчивость приливных колебаний уровня, что позволяет распространить полученные

результаты на акватории, где отсутствуют наблюдения, и на интервалы времени, когда наблюдения не производились. Несмотря на существенные усовершенствования методов расчета нуля глубин, теоретического уровня и наибольшей амплитуды приливов, остается открытым вопрос об уравнивании глубин промеров, выполненных в разное время, поскольку оценки точности устаревают. Все разработки, методы и полученные результаты предназначаются для подразделений гидрографической службы ВМФ России и родственных организаций, обеспечивающих безопасность мореплавания¹.

Интересные особенности приливов обнаруживаются при гармоническом анализе длительных серий наблюдений за уровнем воды в арктических морях. Обработка ежечасных измерений в 19 пунктах за период 1962—1990 гг. показала изменчивость гармонических постоянных не только по сезонам, но и по месяцам. Существует, следовательно, зависимость этих «постоянных» от гидрометеорологических, в частности ледовых, условий. Непостоянство гармоник лучше описывается с учетом мелководных волн, поскольку сезонный ход ледовитости более четко выражен у побережий. Пространственно-временная изменчивость гармоник связана с метеоусловиями различных пунктов наблюдений и местными особенностями ледовой обстановки. На примере одного пункта (пос. Амдерма) выявлены очевидные преимущества строгого анализа и предвычисления прилива перед традиционным методом расчета гармонических постоянных².

Кроме приливных, в океанах и морях наблюдаются и другие длинные волны — например, нелинейные топографические волны Россби, связанные с синоптическими вихрями, открытыми в конце

1960-х. Им передается энергия от нестабильных крупномасштабных океанских потоков, вследствие чего в океане образуются циклоны, подобные атмосферным. Соответственно, в океанах наблюдаются колебания температуры воды, солёности, плотности и других элементов, аналогичные колебаниям в атмосфере при изменениях погоды. Разрабатывается нелинейно-дисперсионная теория топографических волн Россби малой амплитуды³. В ограниченном, почти замкнутом Балтийском море, по данным спутниковых измерений уровня обнаружены поступательно-стоячие волновые колебания. Сопоставление фактических результатов с теоретическими представлениями показывает, что так проявляются длинные градиентно-вихревые волны типа топографических волн Россби. Именно они определяют долгопериодную динамику вод Балтийского моря. Характерные периоды колебаний⁴ составляют 20—60 сут с амплитудами 1—25 см.

© Померанец К.С.,

кандидат географических наук
Санкт-Петербург

Взвешенное вещество в поверхностных водах Атлантики

В лабораторных условиях Института океанологии РАН определялся вещественный состав водной взвеси и ее количественное распределение в поверхностных водах Атлантического океана с тем, чтобы установить вклад различных источников в формирование взвеси. Материал для изучения был получен в семи рейсах научно-исследовательских судов в осенний и весенний периоды 2001—2005 гг. Пробы отбирались на ходу судна как с поверхности, так и в толще вод, при этом особое внимание уделялось глубинам 0—200 м. Кроме того, проводился отбор атмос-

¹ Кононов В.Ф. // Записки по гидрографии. 2005. №265. С.55—59; Жуков Ю.Н. // Там же. №266. С.38—41.

² Войнов Г.Н. // Метеорология и гидрология. 2003. №9. С.59—70; Он же // Там же. 2006. №1. С.60—75.

³ Полухина О.Е., Куркин А.А. // Океанология. 2005. Т.45. №5. С.645—655.

⁴ Фукс В.Р. // Метеорология и гидрология. 2005. №9. С.63—68.

ферных аэрозолей как одного из источников поступления материала в открытых районах океана.

Анализ, проведенный А.А.Клювиткиным (ИО РАН), показал значительную неоднородность в распределении как суммарного взвешенного вещества, так и отдельных его компонент. Наибольшие концентрации взвеси (20–40 мг/л) отмечены в прибрежных районах и зонах, где проходит граница река–море (выносы рек Преголя, Везер, Ла-Плата), причем в основном это терригенный материал. Высокие концентрации зафиксированы также в зонах влияния апвеллингов. Например, в Канарском апвеллинге в разное время эти значения составляли 0,9, 1,49 и 2,29 мг/л — здесь возрастает доля биогенного материала, в том числе органического вещества (до 60%) и аморфного кремнезема (до 10%). В прибрежных районах, где нет впадающих рек, взвеси содержатся меньше, но по сравнению с открытым океаном их концентрация здесь все же достаточно велика — 5–10 мг/л.

Пробы, взятые в открытых частях океана, показали, что наибольшие концентрации взвеси наблюдаются в гумидных умеренных зонах обоих полушарий: в северной гумидной зоне — 0,4–0,5 мг/л, а в южной, особенно в области Фолклендского течения, — 0,5–0,8 мг/л. Основная часть (90%) приходится здесь на биогенное вещество: 50–70% — органика, 20–30% — взвешенный карбонат кальция. Еще южнее, в диатомовом поясе, возрастает доля аморфного кремнезема — до 20–30, а в отдельных пробах — до 50%.

Наименьшие концентрации взвеси (0,05–0,2 мг/л) зафиксированы в аридных зонах океана, где основной ее источник (первичная продукция органического углерода) минимален.

В полосе 5–25° с.ш., даже на значительном расстоянии от материка, концентрации взвеси остаются большими — здесь повышается роль атмосферной поставки вещества, его выноса из Западной Африки. Но и несколько южнее вещества много, так как, не-

смотря на относительно высокие концентрации аэрозолей, «вымывание» материала атмосферными осадками во внутритропической зоне конвергенции и последующее его осаждение на океанскую поверхность происходит гораздо интенсивней, чем в районах с высоким содержанием эолового материала, но с минимальным количеством осадков.

Таким образом, формирование взвесей в поверхностном слое Атлантики контролируется климатической системой океана и влиянием материков, т.е. подчиняется законам циркумконтинентальной и климатической зональности.

Тезисы докладов XVI Международной школы морской геологии. Т.11: Геология морей и океанов. М., 2005. С.29–30 (Россия).

Археология

Заселение острова Пасхи

Каменные истуканы посреди пустынного пейзажа — это все, что осталось от некогда процветавшей, но впоследствии разрушенной экологической катастрофой цивилизации о.Пасхи (ныне территория Чили). Возможно, существенную роль в истории трагического оскудения этой местности сыграли вырубка леса первыми поселенцами и другие последствия их присутствия. Окончательный демографический и культурный крах островной цивилизации произошел в 1722 г., когда европейские первооткрыватели принесли болезни Старого Света в незащищенную полинезийскую популяцию.

В 1950-х годах Т.Хейердал, возглавлявший Норвежскую археологическую экспедицию, пришел к выводу, что первые полинезийцы появились здесь около 750 г., связав это событие с резким изменением растительности в озерных отложениях о.Пасхи. Однако исследование американских ученых Т.Л.Ханта (T.L.Hunt; Гавайский университет Маноа, Гонолулу) и К.П.Липо (C.P.Lipo; Университет штата Калифорния, Лонг-Бич) заставило усомниться в этой уже устоявшейся гипотезе, выявив источники ошибок, возможных при

использовании метода радиоуглеродного датирования. Знаменитый путешественник не учел, что в составе илов могут находиться как древний, так и более новый органический углерод, а это, по мнению Ханта и Липо, способно исказить результаты.

Исследователи произвели раскопки на Анакене, единственной песчаной дюне острова с многослойными отложениями, включающими великолепно сохранившиеся археологические артефакты. Самые древние следы присутствия человека обнаружены в пласте глины с первичной палеопочвой, содержащей древесный уголь, растительные и животные остатки и свидетельствующей о начале заселения данной местности и природном состоянии острова на тот момент. Количество и состав образцов оказались сопоставимы с хорошо известными результатами более ранних раскопок на о.Пасхи.

Для анализа полученных материалов методом радиоуглеродного датирования использовались как критерии, исключающие возможные ошибки, так и последние работы в области систематической обработки данных. В итоге наиболее вероятным временем появления первых полинезийцев на острове стал 1200 г., что хорошо согласуется с имеющимися сведениями о колонизации остальных островов юго-восточной части Тихого океана. Правда, полностью исключить заселение о.Пасхи в период с 657 по 1180 г. пока нельзя (исследование новых образцов теоретически может изменить распределение вероятности в пользу такой точки зрения), но эта гипотеза имеет мало шансов на успех.

Хант и Липо утверждают, что необходимо пересмотреть датировки колонизации полинезийцами и некоторых других тихоокеанских островов. Так, по мнению ученых, о-ва Самоа были заселены лишь после 800 г. (ранее считалось, что около 2800 лет назад), а Новая Зеландия — примерно в 1200 г. (на 400 лет позже, чем предполагалось).

Science. 2006. V.311. №5767. P.1603–1606 (США).

Что происходит с населением России

А.В.Бирюков

Москва

В нашей стране с ее огромными просторами и географическим разнообразием, с населением, неоднородным в этническом, религиозном и других отношениях, демографические процессы отличаются необычайной сложностью. Многообразные социальные процессы: войны и революции, экономические колебания, изменения внешних и внутренних (административных) границ государства — вот только самые очевидные факторы, влияющие на массу населения.

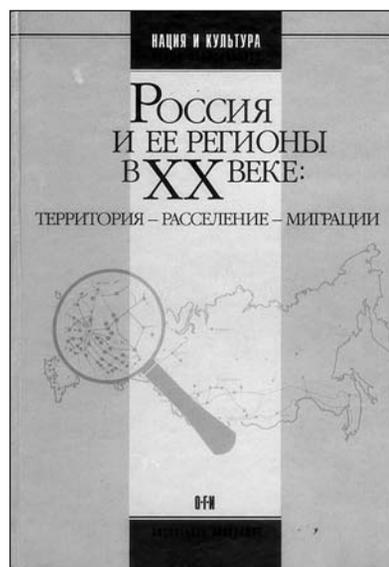
В капитальном труде, посвященном 80-летию известного демографа, главного научного сотрудника Института географии РАН доктора географических наук Г.М.Лаппо, на основе обширных статистических и архивных данных анализируются демографические процессы, происходившие в нашей стране примерно за последнее столетие и сформировавшие ее таковую, какая она есть.

Однако перед нами не историческое исследование, а книга, посвященная актуальной теме. Дело в том, что изменения в демографической ситуации идут весьма неторопливо, и изучать, что происходит сегодня, нужно с оглядкой на последние три-четыре поколения, т.е. на целый век.

Это издание особенное. Написанная большим авторским коллективом по ясному, отчетливо проступающему уже в содержании плану, книга тем не менее состоит из отдельных статей, самостоятельных настолько, что любую из них можно представить напечатанной в составе другого тематического сборника или в научном журнале. Объединенные в семь больших разделов и снабженные редакторским предисловием, статьи этой коллективной монографии охватывают обозначенную в его названии тему с предельно возможной на сегодняшний день полнотой.

Другая особенность заключается в том, что статьи, посвященные теме целиком и в общероссийском масштабе, в каждом разделе соседствуют с очерками, касающимися какой-либо одной стороны вопроса на узко-региональном уровне. Такой подход, названный в предисловии полимасштабностью, представляется весьма удачным — рассматривая проблему вместе с авторами, читатель только выигрывает.

Первый раздел книги посвящен территориальному устройству России, т.е. той сцене, на которой разворачивалась драматическая история ее населения. В статьях докторов географических наук П.М.Поляна и С.А.Тархова (Институт геогра-



РОССИЯ И ЕЕ РЕГИОНЫ В XX ВЕКЕ: ТЕРРИТОРИЯ—РАССЕЛЕНИЕ—МИГРАЦИИ. Под ред. О.Б.Глезер и П.М.Поляна.

М.: ОГИ, 2005. 816 с.

принципиально новый тип города, появившийся в XX в. Они располагают уникальным научно-техническим потенциалом, что накладывает своеобразную печать даже на самые маленькие из них. Большинство наукоградов — центры прикладной науки, но это не мешает им быть местом притяжения интеллектуальной элиты. Проблемы монофункциональности приобретают в них своеобразный оттенок: даже если градообразующие центры представлены несколькими научно-исследовательскими институтами, узкая специализация работающих в них ученых превращает смену работы в смену профессии, тормозит научный рост.

Один из авторов и составителей сборника, Р.А.Попов (Фонд «Институт экономики города») анализирует динамику урбанизированности в разных регионах России. Описывая только те ее стороны, которые имеют количественное выражение и связаны с процессами расселения (т.е. долю городского населения, среднюю заселенность маленьких городов и поселков, число больших городов), он выделяет восемь типов урбанизации и на их основе строит географическое деление страны. Однако число параметров, по которым выделяются указанные типы, приближается к двум десяткам, так что их характеристика получается чрезвычайно гибкой и насыщенной. Общие выводы статьи очевидны: урбанизация тем выше, чем богаче и населеннее регион; разница между европейской и азиатской частями России в настоящее время остается той же, что и в середине XX в., хотя внутри этих регионов степень урбанизированности по всем показателям постепенно сглаживается.

В статье О.И.Вендиной (Институт географии РАН) исследуется такой аспект влияния городов на экономическое развитие страны, как формирование полицентрической структуры хозяйства. Констатируя, что моно-

полярная модель организации экономики, когда Москва является единственной вершиной хозяйственной и политической пирамиды, уже не удовлетворяет требованиям развития России, автор предлагает, по существу, собственную концепцию отечественной экономики. Рост хозяйственного обмена между важнейшими экономическими центрами, связанное с этим увеличение их роли в экономике страны свидетельствуют о том, что территориальная структура эволюционирует в сторону полицентризма. Однако центров макрорегионального влияния в стране явно недостаточно; их возникновению мешает, в частности, налоговая политика, когда существенную часть ресурсов федеральные власти перераспределяют в пользу регионов-аутсайдеров. Это мешает развитию не только экономических центров как полюсов роста, но и страны в целом. Равномерное заполнение городами всего российского пространства — задача и вовсе не реализуемая: для этого нет ни экономических, ни демографических условий. Крупные центры влияния все равно будут возникать там, где удачно сочетаются хозяйственные, финансовые и прочие возможности: на Урале, Северном Кавказе, в Поволжье или, в перспективе, на юге Приморья.

Четвертый раздел посвящен населению деревень. Внешне проблемы деревень могут показаться зеркальным отражением проблем городов, идет ли речь об урбанизации как причине депопуляции деревни или о трудностях ее жителей в связи с застоем в промышленности. На самом деле городское и сельское население никак нельзя уподобить половинкам песочных часов — процессы взаимовлияния здесь намного сложнее, а их последствия не только неочевидны, но часто труднопредсказуемы.

Демографические проблемы на селе анализируются в статье Т.Г.Нефедовой (Институт географии РАН). В 1990-е годы стала

очевидной нерациональная организация сельского хозяйства. Если ранее, в конце советской эпохи, считалось, что в колхозах и совхозах существует острый дефицит рабочих рук, то теперь оказалось, что лишних работников буквально «некуда увольнять»: безработные на селе при ограниченных возможностях трудоустройства (особенно в глубинке) создают серьезные социальные проблемы, и это обстоятельство перевешивает убыточность их трудовой деятельности.

Миграция сельского населения — процесс сложный. Наряду с переездом в города идет стягивание жителей мелких деревень в большие села, а также в пригороды, причем не только крупных мегаполисов, но средних и мелких городов. Намечается тенденция переезда части состоятельных горожан в коттеджи, иногда довольно далеко от места постоянного проживания.

Однако важнее региональные различия. Вблизи Москвы, где плотность сельского населения одна из самых высоких в России, легко найти работу на одном из многочисленных агропредприятий или в самом городе. А вот на юге Черноземья, где сельское хозяйство тоже развивается успешно и поглощает много рабочих рук, рынок труда заполнен, поэтому найти работу нелегко. Разумеется, демографические и социальные различия между Нечерноземьем и Поволжьем, между полуопустевшими деревнями на периферии региона и пригородными селами намного глубже и многообразнее. В результате возникает мозаичная картина, где города, которых, как уже было сказано, не хватает даже в европейской части России, могут поднять сельское хозяйство. Впрочем, при нынешних способах ведения хозяйства число занятых в агросфере оказывается недостаточным, чтобы прокормить города.

Следующие три раздела книги посвящены миграциям насе-

ления — в пределах страны, внешним (эмиграции и иммиграции) и, наконец, принудительным миграциям и переселению — начиная со времен Первой мировой войны и до начала 1950-х годов. Мы здесь коснемся только тех статей, в которых анализируются современные процессы — в твердой уверенности, что депортации, насильственные перемещения людей внутри страны и за ее пределы к современной России уже не имеют отношения.

Миграционные потоки 1980—1990-х годов исследуются в статье Ж.А.Зайончковской (Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН). Напомним, что это был период зарождения и развития частного предпринимательства, начала политики открытых дверей. В стране появились факторы, до этого совершенно отсутствовавшие, и миграции быстро и четко отреагировали на них. Еще в 80-е годы число перемещавшихся внутри РСФСР и пересекавших ее границы отличалось необычайной стабильностью — годовые отклонения от средних показателей не превышали 8%. В течение следующего десятилетия движение населения стало неуклонно сокращаться — число прибывших упало с 6.6 млн чел. в 1989 г. до 2.65 млн в 2000 г., число убывших — с 6.2 до 2.4 млн чел. Сокращались

и внешние (за пределы страны), и внутренние потоки.

При анализе миграционных связей России с бывшими республиками СССР первое, что бросается в глаза, — это почти трехкратное увеличение миграционного прироста (разницы между числом прибывших и убывших) — с 1.4 млн чел. в 1980—1988 гг. до 4.2 млн чел. в 1989—1998 гг. Среди анализируемых миграционных потоков большой интерес представляют данные о беженцах и вынужденных переселенцах. Их учет, начавшийся в 1992 г., отражает не только привлекательность нашей страны для мигрантов, но и степень неблагополучия в других странах. Доля мигрантов из стран СНГ, указавших причиной выезда обострение межнациональных отношений, упала с 13.6% в 1998 г. до 9.3% в 2000 г.

Автор статьи отмечает большие сложности с учетом самого массового потока мигрантов — едущих на заработки. Большая часть таких поездок либо не регистрируется (это характерно для миграций в пределах СНГ), либо совершается под маской зарубежного туризма. Единственное количество трудовых мигрантов в России Зайончковская оценивает в 3 млн чел. Россиян, выехавших на заработки в страны СНГ, по ее данным, — 3—3.5 млн, в дальнейшем зарубежье — 1.5—2 млн. А по

официальным документам, в 2000 г. в России трудилось всего 213 тыс. иностранных работников.

Сложную картину внутрироссийских миграций анализирует Н.В.Мкртчян (Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН). На фоне сокращения этих потоков в Центральном, Приволжском и Южном федеральных округах количество внутренних мигрантов в 1991—2000 гг. увеличилось более чем на 1 млн чел.; все остальные округа только теряли население. Анализ двусторонних миграционных связей на уровне регионов позволяет выделить основные направления перераспределения населения.

Заканчивая обзор этого разностороннего коллективного труда, хочется отметить его богатую фактическую базу. Помимо многочисленных таблиц внутри самих статей, книга включает 12 приложений в виде многостраничных таблиц. Те в свою очередь содержат статистические материалы, послужившие основой большинства работ и имеющие огромное самостоятельное значение. Еще одно приложение, или «Post scriptum», посвящено количественным итогам Всероссийской переписи населения 2002 г., приведены также сведения о ее подготовке, проведении и методах обработки данных. ■

Охрана природы

Н.В.Паклина, М.К.Позднякова, Н.Н.Спасская. РЕИНТРОДУКЦИЯ И РАССЕЛЕНИЕ В ПРИРОДЕ ЛОШАДИ ПРЖЕВАЛЬСКОГО: Научно-практические рекомендации. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. 72 с.

О трагической судьбе лошади Пржевальского (*Equus przewalskii*), полностью исчезнувшей в дикой природе и чудом сохранившейся в зоопарках, хорошо известно. Много писалось

и о необходимости ее реинтродукции — возвращении в природу, в пределы исторического ареала этого вида. Но подобная задача только на первый взгляд может показаться простой. Где проходят границы исторического ареала вида? Всегда ли лошадь Пржевальского обитала только в Джунгарской Гоби? Степное это животное или пустынное? Что позволяло степному виду в течение длительного времени существовать в Джунгарской Гоби? Возможно ли вос-

становление вида в природе, или его вымирание обусловлено необратимыми процессами эволюции? Этим вопросам посвящен первый раздел книги.

Во второй части книги, посвященной практическим рекомендациям по реинтродукции, цитируются немногочисленные публикации о четырех проводимых экспериментах: на Хустайн-Нуру и в Тахийн-Тал (Монголия), в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС (Украина) и в экоцентре «Джейран» (Узбекистан).

Пока ученые разрабатывают научные программы и ведут поиск мест, отвечающих целям реинтродукции, ограниченные территории зоопарков и даже парков полувольного разведения уже не могут вместить растущее поголовье лошадей Пржевальского, что и вынуждает владельцев соглашаться на любые условия.

С 1992 г. лошадей Пржевальского стали завозить как на территории, расположенные в пределах исторического ареала вида, так и в места, совершенно непригодные для целей реинтродукции. Из-за поспешности и научной неподготовленности ошибки совершались практически на всех этапах (особенно при транспортировке), что повлекло за собой недопустимо высокую смертность животных редчайшего вида.

Авторы книги искренне надеются, что указание на допущенные ошибки позволит избежать их повторения в будущем. Они считают, что главной задачей проектов должно оставаться сохранение каждого уникального представителя этого редкого вида. Подмена ее другими целями и задачами, а тем более проведение опасных экспериментов над животными, находящимися под угрозой исчезновения, по крайней мере несвоевременны.

Геофизика. Гидрология

Б.В.Левин, М.А.Носов. ФИЗИКА ЦУНАМИ И РОДСТВЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ОКЕАНЕ. М.: Янус-К, 2005. 360 с.

После Суматринского землетрясения 26 декабря 2004 г. и последовавшего за ним катастрофического по последствиям цунами и у обществности, и в научных кругах, естественно, возрос интерес к этому несчастному, но весьма своеобразному и губительному для многих

прибрежных районов Земли явлению.

В книге подробно изложены существующие представления о цунами, моретрясениях и сопровождающих их явлениях. Даются основные понятия, шкалы, феноменология; рассматриваются все известные к настоящему времени причины, такие как подвижки по разломам на морском дне, вулканические извержения, падение метеоритных тел в океан, а также особые атмосферные явления.

Особое внимание авторы уделили физической сущности и механизмам генерации цунами, как они распознаются в настоящее время. Даются также базовые представления о распространении этих необычных волн в открытом океане и при подходе к берегам. Отдельно характеризуются нелинейные эффекты в эпицентральных зонах подводных землетрясений. Авторы в изложении проблем основываются не только на натурных наблюдениях, но используют также результаты математического и лабораторного моделирования, что дает основу для современных представлений. Обширный список использованной отечественной и зарубежной литературы способствует принятию книги как издания фундаментального.

Можно не сомневаться в том, что книга будет востребована специалистами, исследователями смежных дисциплин и интересующимися сложным для познания явлением цунами и цунамиподобных возмущений водной среды.

Культурология

В.Ф.Райан. БАНЯ В ПОЛНОЧЬ: Исторический обзор магии и гаданий в России. Пер. с англ.; Отв. ред. А.В.Чернецов. М.: Новое литературное обозрение, 2006. 720 с.

История магии и гаданий в России с научной точки зре-

ния долгое время практически не разрабатывалась, однако эта книга опирается не только на исторические материалы, но также отчасти и на российскую исследовательскую традицию. Магические и прогностические тексты профессионально изучались отечественными учеными во второй половине XIX — начале XX в. Капитальные труды и работы таких крупных исследователей, как М.Н.Сперанский и В.Н.Перетц, публикации Н.Я.Новомбергского, посвященные ведовским процессам, свидетельствуют о том, что данное научное направление в России находилось на пути к масштабным обобщениям.

К сожалению, не до конца поддающиеся рациональному объяснению пути идеологического давления на развитие научной мысли в советскую эпоху были поистине неисповедимы. Крестьянский, фольклорный аспект народных верований еще оставался более или менее терпимым в академических исследованиях; говорили об антифеодальной сущности религиозных движений, о народной утопии. А вот магические и прогностические рукописные тексты, следственные материалы по религиозным преступлениям по иронии судьбы попали в своеобразный круг тем, запрещенных советской цензурой.

Вильям Фрэнсис Райан — известный филолог-славист, член Британской Академии, президент Общества фольклористов, знаток русского языка и средневековых рукописей. Книга представляет собой фундаментальное исследование глубинных корней русской культуры. Это не имеющий аналога обширный свод русских народных верований и суеверий, магии, колдовства и гаданий. Здесь же представлен и широкий круг европейских аналогий — балканских, греческих, скандинавских, англосаксонских.

Валун-камень

В.А.Вахрушев,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

В таежной глухомани, в долине большой реки и маленькой речушки, на горе и в низине — всюду можно встретить округлые, голые либо покрытые седым мхом, камни-валуны. Они принесены ледниками, которые в далеком прошлом неоднократно обрушивались на Русскую равнину (как, впрочем, и на всю Северную Европу) со Скандинавии и гор Кольского п-ова. Ледяные исполины на своем пути взламывали скалы и, как гигантский бульдозер, волокли с собой камни. Крупные обломки крошились, обтачивались, покрывались глубокими бороздами и царапинами. Когда суровые холодные эпохи сменялись теплыми межледниковыми, лед таял, а камни-чужестранцы оставались. Светлые, розовые, дымчатые, черные. Один — отполированный до блеска, другой — с вмятиной, замшелый, третий — изрезанный старческими морщинами. Они украшали молчаливый, хмурый, но по-своему яркий ландшафт Севера.

На протяжении столетий из ледниковых валунов наши предки возводили крепости — твердыни могущества государства Российского. Многие могут поведать седые камни островных крепостей о героическом прошлом родины, о высоком мастерстве древних архитекторов и строителей.

Древнейшая из валунных крепостей — Орешек (в 1611 г. переименована шведами в Нотебург, в 1702 г. отвоевана русскими и названа Шлиссельбургом, в 1944—1992 гг. — Петрокрепость).

Где Ладога в Неву вливает быстры воды,
Стеною огражден тут остров в древни годы.
Российска сей оплот поставила рука.

М.В.Ломоносов. «Петр Великий»

Здесь, на Ореховом острове, новгородцы с князем Юрием Даниловичем в 1323 г. поставили деревянный, а в 1352 г. «град каменный Орешек»,

который позволял контролировать судоходство на Неве и обеспечивать безопасность земель. Первоначальная деревянная крепость с каменной башней была воздвигнута в тяжелое для Новгорода время, когда подписанный со Швецией мирный договор закреплял потерю трех погостов Западной Карелии. Договор был своевременной и дальновидной дипломатической акцией новгородского правительства, в частности в нем предусматривалась свобода торговли: «Гости гостити без пакости по всей Новгородской земле... по Неве в Новгород горою и водою. Также нашему гостю чист путь в море». Позднее шведские феодалы неоднократно нарушали «вечный мир» (например, в 1348 г.), когда вторгались в новгородские земли, но раз за разом терпели поражения. Существенную роль в обеспечении незыблемости установленных договором новгородско-шведских границ стала играть заново построенная каменная крепость. Остатки сей русской каменной твердыни из крупных и мелких валунов, сложенных насухо или на известковом растворе, были обнаружены во время раскопок в 1969—1979 гг.

Другая островная крепость новгородцев — Корела (ныне г.Приозерск) — была возведена для сдерживания экспансии шведов на русские земли. Еще в самом начале XIV в. на небольшом острове, где р.Вуокса впадает в Ладожское озеро, новгородцы срубили деревянные дома и обнесли их частоколом из высоких заостренных бревен. А в 1364 г., как сообщает летопись, на месте сгоревшего от пожара деревянного корельского городка посадник Яков поставил первую каменную башню. Позднее камень-валун широко использовался для укрепления земляных куртин (оборонительных валов), строительства бастионов и крепостных башен. Среди последних выделяется массивная двухъярусная Круглая башня. Она была поставлена шведами в 1582—1585 гг., когда они в первый раз захватили крепость. Башня памятна

тем, что одно время использовалась как политическая тюрьма. Она стала местом пожизненного заточения членов семьи Емельяна Пугачева после его поимки и казни в 1775 г. Здесь содержались В.К.Кюхельбекер, А.П.Барятинский и другие декабристы.

Соловецкий монастырь!.. Я был слышан о нем с малолетства, в начале 1920-х годов, от своего деда. Он в молодости совершил паломничество в Соловки на богомолье и очень гордился этим, хотя и вызывал усмешки у старших внуков, — безбожный-то век был уже в самом разгаре.

Уже на западе восточными лучами
Открылся, освещен, с высокими верхами
Причудливых стен округ
Из древних камней град.

Вот таким Соловецкий монастырь увидел юный Ломоносов. Спасо-Преображенский Соловецкий монастырь — поистине валунная крепость. Мощная крепостная стена (высотой 8—11 м и толщиной у основания 7 м) с тяжелыми приземистыми башнями сложена из громадных валунов диаметром до 5 м и весом до 8—10 т. Она была возведена в конце XVI в. под руководством вологодского «городового» мастера Ивана Михайлова и монаха Трифона (Терентия Кологривова), с именем которого связано создание и некоторых других построек. Каменное строительство развернулось в монастыре с середины XVI в. — среди студеного моря появилась «жемчужина Беломорья», настоящий памятник зодчества.

А историю свою монастырь ведет с 1429 г., когда на пустынном Большом Соловецком острове поставили крест и устроили кельи старец-монах Савватий и отшельник Герман. Спустя несколько лет с приходом сюда инока Зосимы была организована обитель. Соловецкий монастырь на протяжении столетий был одним из центров русского христианства, вошел в историю знаменитым собранием рукописных богослужебных, богословских и других книг, бесценной коллекцией древнерусской живописи. Здесь же действовала иконописная мастерская.

Соловецкий монастырь стал примером отличной хозяйственной деятельности. На Большом Заяцком острове была сооружена закрытая гавань, одна из первых в России. Дамба, причал и другие гидротехнические сооружения были сложены из огромных валунов. В 1702 г. в гавани побывал с флотом Петр I. На высоком берегу по его приказу была построена церковь во имя святого апостола Андрея Первозванного. По преданию, здесь был освящен и впервые поднят Андреевский флаг Русского флота.

На Соловках находились лучшие соляные варницы. Имеются сведения, что на Белом море уже в XII в. жители прибрежных сел выпаривали соль из морской воды и солили рыбу. Соль вываривали зимой из подледной воды, так как добываемый та-

ким образом природный рассол был очень концентрированным, или, как тогда говорили, более «добр». Почти три столетия солью «морянской» торговали на всем протяжении рек Северная Двина и Сухона, в Москве, Новгороде, Твери, Костроме, Угличе и других крупных русских городах. Во второй половине XVII в. около 700 тыс. пудов соли ежегодно вываривалось в Беломорье, при этом большая доля приходилась на варницы Соловецкого монастыря. И только в конце XIX в. «морянка» исчезла с рынков России, ее вытеснила более дешевая соль Поволжья и Приуралья.

На острове, где стоит монастырь, было налажено отличное водоснабжение: между озерами проложены каналы, построены шлюзы, дамбы. Имелся скотный двор, обширный огород и оранжерея. Мельница обеспечивала мукой не только монастырскую братию — монахи по-божески делились хлебушком и с попавшими в беду крестьянами. С XVI в. существовал кирпичный завод, и кирпичи его до сих пор прочно сидят в стенах башен и некогда великолепных соборов. Список заводов постепенно пополнялся: свечной, салотопенный, гончарный, кожевенный, лесопильный, литейный, механический. Соловки славились мастерами кузнечного дела. Работали мастерские: серебряных дел, сапожная, портняжная, малярная, столярная, слесарная, переплетная, корзинная, санная, колесная, экипажная.

После создания каменных оборонительных сооружений монастырь превратился в значительную крепость, военный страж северных русских берегов. В XVII в. не раз эта твердыня отпугивала шведские военные корабли. Монашеское воинство дало решительный отпор английской эскадре в середине XIX в., когда шла Крымская война. До сих пор крепостные башни и стены хранят следы вражеских ядер. Соловки были очень крепким орешком для охотников до чужой земли, и в этом в немалой степени повинен богатырский по своей прочности камень-валун.

Особое место в истории Соловецкого монастыря занимает его сопротивление церковной реформе Никона. Чтобы унять бунтарство соловецкого монашества, на остров были посланы правительственные войска. Восемь лет (1668—1676) они осаждали монастырь и овладели им только из-за предательства одного монаха, показавшего тайный проход. Началась жесточайшая расправа над старообрядцами.

Но самые трагические страницы в истории Соловков вписаны в 20—30-х годах 20-го столетия, когда здесь размещался печально известный лагерь особого назначения (СЛОИ), оставивший после себя разрушенные скиты и храмы, одинокие кресты да поросшие травой забвения могилы узников.

В Москве около Лубянки в 1990 г. установлен соловецкий гранитный камень-валун — один на всех погибших в сталинско-бериевских «гулагах»,

камень покаяния для живущих, камень памяти для потомков. В Петербурге на Троицкой площади водружен закладной камень, 10-тонный гранитный валун с Соловков, на месте будущего памятника жертвам политрепрессий. На камне высечены слова А.А.Ахматовой: «Хотелось бы всех поименно назвать».

В конце XX в. началось возрождение Спасо-Преображенского Соловецкого монастыря. Вновь учреждено его московское подворье. В 2001 г. там был установлен 9-метровый поклонный крест в память о «новомучениках и исповедниках Соловецких, в годину лютого гонения за веру и Церковь пострадавших». На гранях креста вырезаны тексты молитв. Крест и камни у его подножия привезены с Соловков. Поклонные и обетные кресты были очень популярны на Соловецких о-вах.

А первый поклонный крест на Руси был установлен тысячу лет назад на Киевских горах. С тех пор у православных вошло в традицию устанавливать символы христианства на перекрестках дорог, на вершинах гор и холмов, дабы прохожие или проезжие могли помолиться, поклониться кресту, попросить у Бога помощи и защиты.

Красив и величественен «духовный архипелаг» Валаам. Возникновение здесь первой обители относится ко времени начала христианства на Руси. По преданию, ее основателями были преподобные Сергий и Герман — греческие миссионеры, пришедшие на ладожские земли в X в. Валаамские острова — это группа гранитных скал, обрамленных в голубую оправу Ладожского озера. На обширной плоской скале Валаама, самого большого из островов, расположилось подворье Спасо-Преображенского Валаамского монастыря. При строительстве церквей, колоколен, хозяйственных зданий использовались как тесаные гранитные плиты, так и ледниковые валуны — благо того и другого природного камня предостаточно (остров-то сплошь гранитный). На площадку монастыря ведет из-под горы, от самой пристани, гранитная лестница из 62 ступеней. Фундамент соборного храма «по окна нижнего этажа, более трех аршин, из серого валаамского гранита, а выше идет кирпичная кладка; в окнах полированные колонны, из своего черного гранита», — так описывали монастырь в 1904 г. На Валаамских о-вах не редкость развалины скитов, сложенных в прошлом монахами-пустынниками из дикого камня — валуна.

В нашем северном крае крупные ледниковые валуны в основании древних церквей — обычное явление. Вот любопытный пример. Под парадным крыльцом церкви Николы Мокрого (XVII в.) в Ярославле реставраторы обнаружили гранитный валун, площадка которого достигает 12 м², — попробуй, сдвинь с места такую глыбу. Старые мастера поступили мудро: гигантский валун оставили там, где он оказался по воле Божьей. Реставраторы последовали их примеру: царь-камень ре-

шили не трогать, не тратить сил на его перемещение, а просто-напросто встроили его в сооружение с наибольшей пользой.

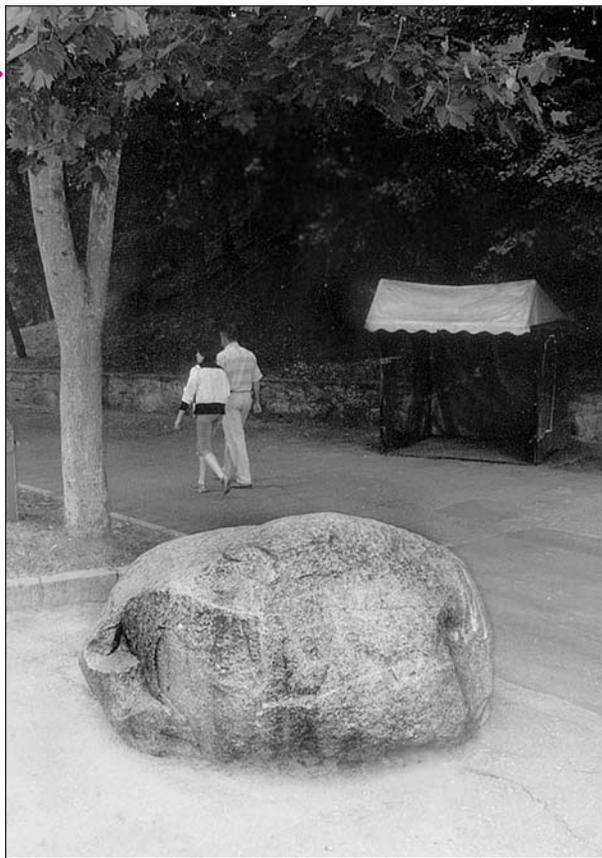
Знакомые всем нам кирпичные стены и башни Московского Кремля покоятся на мощном фундаменте из хорошо сохранившихся свай, на которых установлены валуны-монолиты, достигающие метра в диаметре. Ученые считают, что это остатки некогда разобранный, более древнего белокаменного кремля.

Только Богу известно, сколько камня-валуна уложено в «топи блат» при строительстве града Петрова. Там на Сенатской площади (с 1925 г. площадь Декабристов) у подножия конной статуи Петра I уже более двухсот лет покоится самый именитый по всем статьям стотысячепудовый гранитный валун-великан. Он выделан каменотесами в форме морской волны из «Гром-камня», взятого близ деревни Лахта под Петербургом. Свое имя у местных жителей он получил после того, как в него ударила молния. Первоначальные размеры валуна внушительные: длина — 13.2 м, ширина — 6.6 м, высота — 8.1 м.

В Екатерининском парке Царского Села на гранитно-гнейсовом ледниковом валуне в грациозной позе «дева печально сидит, праздный держа черепок» (А.С.Пушкин). Автор бронзовой фигуры, украшающей фонтан «Молочница с разбитым кувшином», — скульптор П.П.Соколов. Здесь же, на территории Старого сада, где «смуглый отрок бродил по аллеям, у озерных грустил берегов» (А.А.Ахматова), ледниковые валуны придают естественный вид каскаду водопадов, соединяющих между собою три пруда. Особенно оригинален водопад «Чертов мост» с крупными валунами на нисходящих гранитных плитах-уступах.

Необычный памятник архитектуры XVIII в. сохранился в парке Павловска. Это павильон «Молочня», построенный из камня-валуна по проекту архитектора Ч.Камерона в виде сельской хижинки.

С виду простые и скромные валуны служат памятниками многим поэтам и писателям. В зеленой долине извилистой речушки Гирстунис, что находится рядом с ботаническим садом в Каунасе (Литва), лежит «Камень Мицкевича». История этого ледникового валуна длиной 1.15 м, шириной 0.4 м и высотой 1.02 м известна. Адам Мицкевич одно время жил в Каунасе, где он преподавал в местной школе риторику, географию, латинский язык, историю античного мира, общую грамматику и политэкономия. Устав от шума и городской суеты, он часто спускался в долину реки, садился на камень и, укрытый зеленью луга, отдыхал или обдумывал свои будущие произведения. Когда Мицкевич покидал город, друзья и поклонники его таланта устроили у камня провода и выбили на нем инициалы поэта и памятную дату: «А.М. 1823». С тех пор камень и сама долина, которой поэт посвятил не одно стихотворение, стали называться его именем.



Камень-валун на дорожке парка. Гомель.

В Санкт-Петербурге на Черной речке, там, где обелиск с бронзовым Пушкиным, лежат два больших круглых ледниковых валуна — отметины трагической судьбы великого поэта. Они лежат на том месте, где стрелялись Пушкин и Дантес.

В подмосковном Шахматово есть «Блоковский валун». На зеленом холме, самой природой помеченном странствующим камнем, быть может, впервые перед юным поэтом распахнулась «многоверстная синяя русская даль» с хлебными полями и туманами, избами серыми, песнями ветровыми.

На Новодевичьем кладбище в Москве под неприметным седым валуном покоится прах знаменитого поэта-фронтовика Твардовского. На камне даты рождения и кончины Александра Трифоновича и никаких упоминаний о званиях и наградах — зачем все это. Память о человеке после его смерти — Божий промысел.

У В.В.Маяковского нет именно камня-валуна. Зато есть у любимой им женщины, Л.Ю.Брик. Она тоже покончила жизнь самоубийством, но уже в весьма преклонном возрасте. Согласно завещанию, прах ее был развеян — на огромном поле под Звенигородом, рядом с деревней Бушарино. Памятником на том месте стал огромный валун, на котором высечено то, что некогда выгравировал на подаренном ей кольце Маяковский:

«Л.Ю.Б.», а далее, через тире, для непосвященных в таинство этих букв: «Лили Юрьевна Брик».

Есть валун, связанный с Ф.М.Достоевским. Федор Михайлович долгое время жил в Старой Руссе. Здесь он написал роман «Братья Карамазовы», здесь же жили и его герои. У большого камня около древней церкви на похоронах Ильюшечки Алексей Карамазов произнес свою прощальную речь. Только вот памятника Достоевскому в Старой Руссе нет.

Для паломников в Дивеевскую обитель особо значимым является большой, плоский, изрядно вросший в землю камень-валун, что находится в лесу, где была так называемая «дальняя пустынка» старца Серафима. На том камне преподобный Серафим Саровский провел в молитвах тысячу ночей.

Будучи одним из основных элементов ландшафта не только Севера, но и всей Русской равнины, ледниковый валун издавна вошел как в материальную, так и в духовную культуру народа. Связь камня-валуна с родной природой великолепно, нередко поэтически и сказочно отражается в русской живописи. Навсегда остается в памяти «вещий камень» с картины В.М.Васнецова «Витязь на распутье» (1882) с былинными словами:

Как прямо ехать, живу не бывати,
Нет пути ни проезжому, ни прохожому,
ни пролетному.

Колдовской пейзаж с темнеющими далями, багровым отсветом, зловещими черными воронами, кружащими над останками воинов, павших среди холодных, обманчиво равнодушных ко всему камней-валунов, рождает ощущение тревоги и сомнения.

На другой картине Васнецова сказочная Аленушка приютилась на одиноком холодном ледниковом валуне, словно разделяя с ним свою горькую судьбу. В музее-заповеднике Абрамцево можно постоять рядышком с камнем-валуном у «Аленушкиного пруда» или почувствовать эпическую мощь «поляны трех богатырей». Именно здесь, в усадьбе С.И.Мамонтова, были написаны картины «Аленушка» и «Богатыри».

Валуны присутствуют и на полотнах русских пейзажистов. Это и «Вид в окрестностях Ораниенбаума» А.К.Саврасова, и «Корабельная роща» и «Лесные дали» И.И.Шишкина. На последней картине изображен ледниковый увалистый рельеф с относительно невысоким водоразделом, с легкой дымкой тумана, смягчающей резкость очертаний. Шишкинский пейзаж не сочиненный, а почти без изменений перенесенный с русской природы на большое полотно.

Во времена язычества валуны избирались в качестве священных камней, которые наделяли названиями: Перун-камень, камень Велеса, камень Дажьбог, камень Чернобог... Были божи камни, были и камни чертовы, камни-колдуны. У филосо-

фа В.С.Соловьева есть стихотворение, в котором описывается манящая и одновременно жуткая сила, притягивавшая к неведомо откуда взявшимся мшистым каменным громадам.

Эти мшистые громады
Сердце тянут как магнит.
Что от смертного вам надо,
Что за тайна здесь лежит?
Молвит древнее сказанье,
Что седые колдуны
Правым роком в наказанье
За ужасные деянья
В камни те превращены.

В.Соловьев. «Колдун-камень».

Во власти потаенной красоты валунов находился и писатель Ф.А.Абрамов, уроженец северного валунного края.

«Камни-валуны сродни русскому человеку. Красота их неброская, застенчивая. Зато уж, когда разглядишь ее — покорен навсегда.

А сейчас выйду на залив — и весь во власти валунов, их потаенной, скромной красоты. Так уж, видно, устроен человек. Сперва видим все яркое, крикливое и лишь потом, по мере роста души, замечаем неприметное, неброское.

Солнца нет, и потому каждый валун — светильник. Один ярче, цветистее, другой скромнее, а третий столь сложен по цвету, будто вобрал в себя все оттенки, — летний дуг в цвету.

Эх, художники, художники! Почему вас нет на заливе? Вот где учиться цвету! На камнях. И какая удивительная могла бы быть картина по цвету, по цветовой гамме: валуны розовые, стальные, дымчатые...

В солнечный день камни-валуны не смотрятся. Красота их, тонкая, застенчивая, ушла внутрь...

Мягкий закат на заливе и великолепие валунов. Оказывается, они в светлое время играют, только надо иметь глаза».

В умелых руках валун становится прекрасным элементом в садово-парковой композиции. Ярким примером тому может служить парк в бывшей

усадьбе Румянцевых и Паскевичей, украшающий белорусский город Гомель с XIX в. Ледниковые валуны, оставленные на своих исконных местах, выглядывают из тени деревьев на газонах, «вырастают» среди дорожек, подчеркивая близость паркового ансамбля к природе и усиливая восприятие пейзажа. Небольшие валуны пошли на укрепление склонов оврага с ручьем Гомий, пересекающим парк.

Земля белорусская густо усеяна отметинами ледникового периода. И сотрудники Института геохимии и геофизики АН БССР (ныне Институт геологических наук НАН Беларуси) тщательно выбрали примерно 2 тыс. из принесенных ледником на территорию республики валунов и в 1980-х годах создали Музей валунов. Этот уникальный музей, расположившийся на 6,5 га на окраине Минска, является одновременно и экспериментальной базой для исследования ледниковых валунов, и парком. Центральное место в экспозиции занимает «Карта Беларуси». С помощью насыпных холмов отображен рельеф местности, пешеходные дорожки имитируют реки, скопления валунов означают населенные пункты. При этом валуны располагаются соответственно тому, откуда они были привезены.

В музее имеются валуны, различные по составу, форме и размерам — от 1 до 3 м и массой до 16 т. Возраст их достигает 3 млрд лет. Камни весьма разнообразны: встречаются и осадочные, и магматические, и метаморфические породы, а также имеется уникальный конгломерат вулканического происхождения. Камни несут важную геологическую информацию о том, где зародился принесший их ледник, каким путем он двигался, по ним можно определить геологическое строение территории и состав почв. Особый интерес представляют валуны с межевыми знаками, валуны, обработанные в виде жерновов, камни-«следовики», камни-кресты, культовые камни. Таких валунов всего несколько десятков, но они связаны с историческим и культурным прошлым человечества. ■

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 21.08.2006
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 1654
Набрано и сверстано в редакции

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