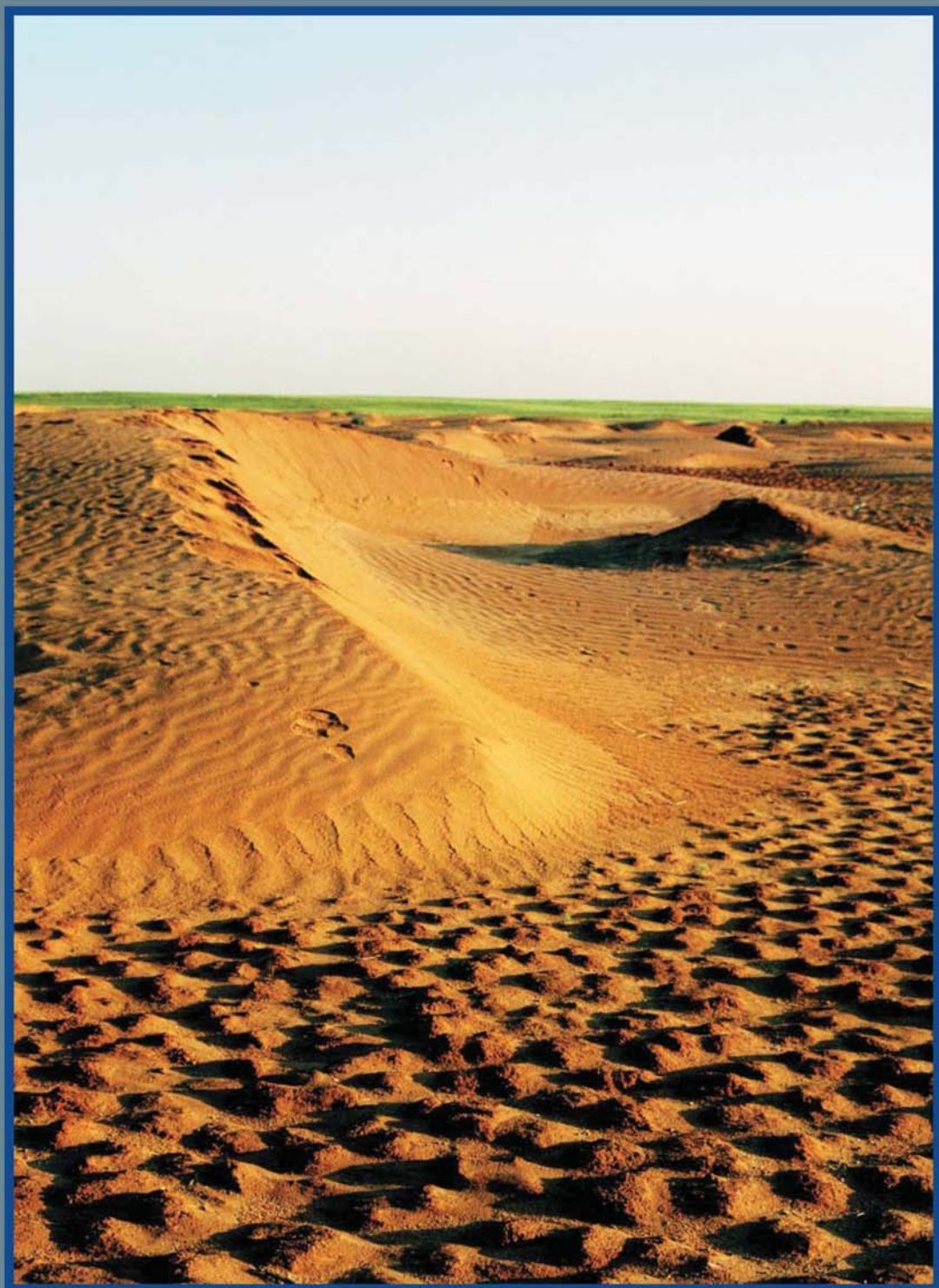


ПРИРОДА

2 03



В НОМЕРЕ:

- 3** **Бялко А.В.**
Конкурс популярных статей РФФИ
- 5** **НА ВЕРШИНАХ НАУКИ И ВЛАСТИ**
К 100-летию Анатолия Петровича Александрова
- Осипов Ю.С.**
А.П.Александров и Академия наук (6)
- Румянцев А.Ю.**
В штабе атомной отрасли (10)
- Алферов Ж.И.**
Интерес к жизни (15)
- Александров А.П.**
Прямая речь (20)
- 25** **СВЕТ И ЦВЕТ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ**
- Лабас Ю.А., Гордеева А.В.**
Неразгаданная Дарвином биолюминесценция (25)
- Как могли появиться на эволюционной арене свещающиеся в темноте организмы? Объяснить это, исходя из своей теории, не смог даже Дарвин. О происхождении свечения и до сих пор существуют противоречивые гипотезы, хотя механизм самого явления уже расшифрован.*
- 32** **Решетников В.П.**
Астрономические задачи начала XXI века, или 23 проблемы Сэндиджа
- На какие ключевые вопросы предстоит ответить астрофизикам в ближайшие 30 лет? Их постарался сформулировать выдающийся американский ученый Алан Сэндидж.*
- 41** **Уфимцев Г.Ф.**
Каменные столбы Каппадокии
- 45** **Рогачёв К.А.**
Камчатское течение

Научные сообщения**50** **Мионов А.Н., Москалев Л.И.****Морские пещеры и их обитатели**

Изучением животных, населяющих сухопутные и пресноводные пещеры, занимаются довольно давно, а вот фауна морских (особенно глубоководных) пещер — до сих пор не раскрытая и интригующая страница морской биологии.

56 **Озернюк Н.Д.****Температурные границы жизни**

Какие механизмы лежат в основе приспособлений организма к неблагоприятным температурам? На молекулярном уровне они связаны с важнейшими внутриклеточными структурами и процессами.

Вести из экспедиций**62** **Немировская И.А.****Углеводороды снежно-ледяного покрова высокоширотных акваторий****Неронов В.В., Чабовский А.В.****Черные земли: полупустыня вновь становится степью (72)**

Даже в этом малонаселенном засушливом крае на юго-востоке Европейской России хозяйственная деятельность человека во многом определяет динамику экосистем.

Новости науки**80**

«Портрет» антиматерии (80). Планеты или звездные пятна? **Вибе Д.З.** (80). Происхождение африканского метеорита загадочно (81). Углеродные нанотрубки удаляют из воды свинец (82). Уран Австралии (82). Нефть Тасманова моря (82). Науке нужны новые подводные аппараты (83). «Мир-1» и «Мир-2» на гидротермальных полях Атлантики. **Сагалевиц А.М.** (83). Остров Монтсеррат: бедствие продолжается (84). Сейсмические вибрации при субдукции (85). Роль водяных паров в глобальном потеплении (85). У истоков мореплавания (86). **Коротко (40)**

Рецензии**87** **Яблоков А.В.****Наука и судьба****Новые книги****90****Встречи с забытым****91** **Иванова-Казас О.М.****Геральдический бестиарий**

CONTENTS:

- 3** **Byalko A.V.**
The Science Popularizers' Contest

- 5** **AT THE TOP LEVEL OF SCIENCE AND POWER**
On the 100th Anniversary
of Anatoly Petrovich Aleksandrov

Osipov Yu.S.

A.P. Aleksandrov and the Academy of Sciences (6)

Rumyantsev A.Yu.

In the Headquarters of the Nuclear Industry (10)

Alferov Zh.I.

Interest in Life (15)

Aleksandrov A.P.

Direct Speech (20)

- 25** **THE LIGHT AND COLOR OF LIVING ORGANISMS**

Labas Yu.A. and Gordeeva A.V.

The Bioluminescence Darwin Could Not Solve (25)

How could luminescent organisms appear on the evolutionary scene? Even Darwin could not explain this on the basis of his theory. There are still many conflicting hypotheses concerning the origin of luminescence, although the mechanism of this phenomenon has been determined.

- 32** **Reshetnikov V.P.**
Astronomical Problems of the Early 21st Century, or 23 Problems Posed by Sandage

Which key questions are to be answered by astrophysicists in the next 30 years? Alan Sandage, outstanding American scientist, has attempted to formulate them.

- 41** **Ufimtsev G.F.**
The Stone Columns of Cappadocia

Scientific Communications

- 45** **Rogachev K.A.**
The Kamchatka Current

- 50** **Mironov A.N. and Moskalev L.I.**
Submarine Caves and Their Dwellers

Research on the animals inhabiting subaerial and fresh-water caves has been conducted for a long time, but the fauna of submarine (particularly deep-sea) caves is a yet unopened and intriguing page in marine biology.

- 56** **Ozernyuk N.D.**
The Temperature Limits of Life

What mechanisms underlie the adaptations of organisms to unfavorable temperatures? At the molecular level they are related to very important intracellular structures and processes.

News from Expeditions

- 62** **Nemirovskaya I.A.**
Hydrocarbons of the Snow-Ice Cover of High-Latitude Marine Areas

Neronov V.V. and Chabovsky A.V.

Black Earth: A Semidesert Turns into a Steppe again (72)

Even in this sparsely populated arid region in the south-eastern part of European Russia, human activity is largely responsible for ecosystem dynamics.

Science News

- 80**
The Profile of Antimatter (80). Planets or Stellar Spots? **Wiebe D.Z.** (80). The Origin of the African Meteorite Is Enigmatic (81). Carbon Nanotubes Remove Lead from Water (82). The Uranium of Australia (82). The Oil of the Tasman Sea (82). Science Needs New Submersibles (83). Mir-1 and Mir-2 in the Hydrothermal Fields of the Atlantic. **Sagalevich A.M.** (83). Montserrat Island: The Distress Goes on (84). Seismic Waves Due to Subduction (85). The Role of Water Vapor in Global Warming (85). Where Seafaring Had Its Beginnings (86).
In Brief (40)

Book Reviews

- 87** **Yablokov A.V.**
Science and Fate

New Books

- 90**

Encounters with the Forgotten

- 91** **Ivanova-Kazas O.M.**
The Geraldic Bestiary

Конкурс популярных статей РФФИ



Подведены итоги уже пятого конкурса научно-популярных статей, который ежегодно проводит Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) среди участников исследовательских проектов. Хотя конкурс объявляется с равным распределением — по шесть премий на все семь отделов РФФИ, — присуждение происходит, исходя только из качества работ, точнее — из оценок экспертов (в числе которых есть и профессиональные научные редакторы). В результате одни отделы присуждают меньше премий, другие — больше, а число лауреатов оказывается примерно пропорциональным количеству заявок. Размер премии в этот раз увеличен до 15 тыс. рублей.

МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Веденяпин В.В. 130 лет уравнению Больцмана (Институт прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН);

Лаптев Г.И., Лаптев Г.Г. Глобальные решения дифференциальных уравнений (Тульский государственный университет);

Учайкин В.В. Эта странная кинетика (Ульяновский государственный университет).

ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Гриднев С.А. Сюрпризы несоразмерной фазы в сегнетоэлектриках (Воронежский государственный технический университет);

* **Клочкова В.Г., Панчук В.Е.** От звезды — к планетарной туманности (Специальная астрофизическая обсерватория РАН);

* **Островский Б.И.** Динамика смектических мембран в лучах синхротрона (Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН);

Головин Ю.И., Тюрин А.И. Микро- и наноконтактное взаимодействие твердых тел (Тамбовский государственный университет им.Г.Р.Державина);

Угольников О.С. Гравитационное линзирование космических гамма-всплесков как доказательство их внегалактической природы (Институт космических исследований РАН).

ХИМИЯ

* **Дьячков П.Н.** Углеродные нанотрубки — материалы для компьютеров XXI века (Институт общей и неорганической химии им.Н.С.Курнакова РАН);

Леменовский Д.А., Крутько Д.П. Атом отвечает взаимностью (химический факультет МГУ);

Федотов П.С., Марютина Т.А. Вращающиеся спиральные колонки в анализе природных образцов (Институт геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского РАН);

Остроушко А.А. Анионные монстрики в поливиниловых джунглях, или О пользе здорового дилетантизма в науке (Уральский государственный университет им.А.М.Горького);

Эпштейн Л.М., Шубина Е.С. Многоликая водородная связь (Институт элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН).

БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНСКАЯ НАУКА

* **Берман Д.И.** Идеальный приспособленец, или Адаптивная стратегия сибирского углозуба (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан);

* **Бородин П.М.** Домовая землеройка на пути к видообразованию (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск);

Алфимова М.В., Голимбет В.Е. Наша судьба — в наших генах (Научный центр психического здоровья РАМН);

Масс А.М. Не двоятся ли в глазах у дельфина (Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН);

Милановский Е.Ю., Шеин Е.В. Структура почв (факультет почвоведения МГУ);

Отеллин В.А. Влияние неблагоприятных факторов внешней среды на формирование патологии головного мозга в разные периоды беременности у млекопитающих (Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины РАМН, Санкт-Петербург);

Рабинович М.Л., Мельник М.С. «Хвостатые» ферменты (Институт биохимии им.А.Н.Баха РАН);

* **Рубцов Н.Б., Бородин П.М.** Эволюция хромосом: от А до В и обратно (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск);

Чизмаджев Ю.А. Как вирус проникает в клетку (Институт электрохимии им.А.Н.Фрумкина РАН);

* **Шевелев И.А.** Волновые процессы в зрительной коре мозга (Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН).

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Авакян А.Б. Многоликие водохранилища — феномен XX века (Институт водных проблем РАН);

Агафонов Б.П. «Антигравитационные» песчаные потоки из озера Байкал (Институт земной коры СО РАН, Иркутск);

* **Еланский Н.Ф.** Примеси в атмосфере континентальной России (Институт физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН);

* **Кароль И.Л., Киселев А.А.** Химия атмосферы: спурт длиной в 30 лет (Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова);

Уфимцев Г.Ф. Научное сокровище — горы Азии (Институт земной коры СО РАН, Иркутск).

НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ

Акимова М.В., Шапир М.И. Методология точного литературоведения: научное наследие Б.И.Ярхо (публикация и интерпретация) (Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН);

Василевич А.П., Михайлова И.А. Лазурь и пурпур. Чему учит история терминов цвета (Институт языкознания РАН);

* **Деренко М.В., Малярчук Б.А.** Молекулярные маркеры и генетическая история коренного

населения Северной Азии (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан);

Животовский Л.А. Правнуки и пращурь (Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН);

Муздыбаев К.К. Анатомия эгоизма (институт Социологический РАН, Санкт-Петербург);

Соколов К.Б. Надо ли России догонять Европу, или «Куда же нам плыть?» (Государственный институт искусствознания);

Спицын В.А. Климат и гены человека (Медико-генетический научный центр РАМН);

Тарасов К.А. Воздействие насилия в фильмах: катарсис или мимесис? (Московский государственный институт международных отношений <Университет> МИД РФ);

Шестопап Е.Б. Психологический «портрет» российской власти (Философский факультет МГУ);

Юревич А.В., Цапенко И.П. Наука и политика (Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН).

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

Евстигнеева Г.А., Земсков А.И. Настоящее и будущее фондов научных библиотек (Государственная публичная научно-техническая библиотека России);

Никифорова С.А., Баранов В.А., Зуга О.В., Рябова Е.В., Миронов А.Н., Вотинцев А.А., Ощепков С.В., Романенко В.А. Полнотекстовые базы данных и проблемы издания славянских рукописных памятников (Удмуртский государственный университет, Ижевск).

«Природа» поздравляет лауреатов конкурса — мастеров популяризации. Нам приятно также отметить, что в естественных науках около половины победителей еще до конкурса опубликовали свои статьи в нашем журнале (они отмечены звездочкой). Редакция «Природы» принимает участие и в подготовке сборников статей, отмеченных премиями. Их вышло уже пять:

«Российская наука: выстоять и возродиться» (М.: Физматлит, 1997);

«Российская наука: день нынешний и день грядущий» (М.: Academia, 1999);

«Российская наука: грани творчества на грани веков» (М.: Научный мир, 2000);

«Российская наука на заре нового века» (М.: Научный мир, 2001);

«Российская наука: дорога жизни» (М.: Октопус, 2002).

Название последней книги было отобрано по конкурсу, объявленному журналом среди читателей, его предложил М.Я.Фильштейн. Этот конкурс продолжается: напомним, что тому, кто предложит лучшее название, будет вручен сам сборник статей авторов-победителей, а также годовая подписка на «Природу».

© **А.В.Бялко,**

доктор физико-

математических наук,

заместитель главного редактора журнала «Природа»

Москва

НА ВЕРШИНАХ НАУКИ И ВЛАСТИ

К 100-летию Анатолия Петровича Александрова

*Две силы есть — две роковые силы,
Всю жизнь свою у них мы под рукой,
От колыбельных дней и до могилы, —
Одна есть Смерть, другая — Суд людской.*
Федор Тютчев

Множество заслуг у академика А.П.Александрова перед страной. Он жил с полной отдачей сил, его талантам сопутствовал успех в делах важнейшего научного и государственного значения. Но случилось то, что случилось. На его старые плечи — ему шел 84-й год — упала чернобыльская трагедия. Главный всегда в ответе. Он подает в отставку с поста президента Академии, потом уходит и с других высоких должностей. Тяжело переживает и катастрофу, и последующие события.

Несколько оправившись, Александров напишет: «Вы ведете машину, поворачиваете руль не в ту сторону — авария. Мотор виноват? Или конструктор машины? Каждый ответит: виноват неквалифицированный водитель».

Можно было бы не держать в фокусе эту историю, когда празднуется юбилей. Но фигура умолчания делает картину нечестной, что стало бы проявлением неуважения к не запятнанному свою честь человеку. Он был большой труженик, обаятелен и располагающе прост. Эта простота шла от внутренней культуры, которую он получил в наследство от семьи.

Анатолий Петрович родился 13 февраля 1903 г. в городке Тараща Киевской губернии. Отец, Петр Павлович, — надворный советник, мировой судья. Мать — Элла Эдуардовна, в девичестве Классон, целиком посвятила себя воспитанию детей.

Детство и юность Анатолия Петровича прошли в Киеве, по которому с особым размахом прокатились кровавые события первой четверти ушедшего века. В конце жизни Александров скупо поведал о своем участии в гражданской войне. В 1919 г. он волей случая оказался в гуще Белой армии, воевал, дошел до Крыма, имел возможность сесть на корабль, отплывавший в Турцию, но этим не воспользовался. В результате попал в плен, был приговорен к расстрелу и чудом спасся. По понятным причинам все это стало семейной тайной.

С гораздо большей охотой рассказывал Анатолий Петрович, как, спасаясь от голодухи, вместе с братом варил мыло, а сестра продавала, как работал учителем в 79-й школе и одновременно учился в Киевском университете, как начал вести научные исследования в Рентгеновском институте, куда однажды приехал Курчатов — «наш ровесник, красивый парень, живой и умный».

Общие научные интересы и взаимная симпатия сделали свое дело. В 1930 г. на Всесоюзном съезде физиков в Одессе Курчатов, уже работавший у А.Ф.Иоффе, представил Александрова Абраму Федоровичу. Тот заинтересовался исследованиями группы молодых киевлян и предложил им переехать в Ленинград для работы в Физико-техническом институте.

Дальнейший жизненный путь отражен в публикуемых ниже очерках. Они написаны весьма представительными авторами — имена которых говорят сами за себя — для сборника «А.П.Александров. Документы и воспоминания» (под редакцией академика Н.С.Хлопкина), выпускаемого к юбилею Российским научным центром «Курчатовский институт».

Чтобы приблизить читателя к личности Александрова, дать возможность ощутить его искренность и юмор, мы воспроизводим небольшие тексты, наговоренные или написанные самим Анатолием Петровичем.

Все фотографии предоставлены редакции Петром Анатольевичем Александровым, за что приносим ему глубокую благодарность.



Анатолий Петрович Александров (1903—1994).

А.П.Александров и Академия наук

Академик Ю.С.Осипов,
президент Российской академии наук

Анатолий Петрович Александров принадлежит к замечательной плеяде отечественных ученых XX в., которые создавали научно-технический, экономический и оборонный потенциал Советского Союза. Он получил широкую известность и признание как один из выдающихся ученых, руководителей научных коллективов в области атомной науки и техники, как выдающийся организатор науки.

Научная деятельность Александра охватывала ряд разделов физики, в том числе физику твердого тела, физику полимеров, ядерную физику, разные отрасли техники. Для творчества Анатолия Петровича были характерны глубокое проникновение в сущность исследуемых явлений и стремление использовать полученные научные результаты для решения актуальных практических задач. Непременным принципом для него было подчинение своих научных интересов насущным нуждам страны. Жизнь ставила перед учеными задачи, для осуществления которых было необходимо объединение усилий больших коллективов специалистов. И Анатолий Петрович с энтузиазмом брался за такие задачи.

Путь его в науку начался в Киевском университете. На его

работы по физике диэлектриков, выполненные в годы учебы в университете, обратил внимание академик А.Ф.Иоффе, который пригласил Александра в ленинградский Физико-технический институт Академии наук СССР. Именно в Физтехе, в школе А.Ф.Иоффе, Анатолий Петрович сформировался как ученый.

Уже в первых работах Анатолия Петровича, посвященных исследованиям электрического пробоя, проявились блестящий талант экспериментатора и способность глубоко разбираться в сложных физических явлениях.

Возглавляя отдел электрических и механических свойств полимерных материалов и предвидя их большое будущее, он со своими сотрудниками развернул обширные эксперименты по физике полимеров. Одновременно Анатолий Петрович вел исследования для нужд Военно-Морского Флота. В его лаборатории был разработан метод защиты военных кораблей от магнитных мин. Под руководством Александра была проведена огромная работа по размагничиванию военных кораблей на всех флотах, вследствие которой наш Военно-Морской Флот в годы войны не имел потерь от магнитных мин.

В середине 40-х годов Александр активно включился в работу по овладению энерги-

ей атомного ядра и ее применению в различных отраслях. Вся его предыдущая научная деятельность была как бы подготовкой к этому главному делу его жизни.

После создания ядерного оружия и мощного ядерного научно-производственного комплекса Анатолий Петрович сосредоточился на научных и технических проблемах ядерной энергетики. Под его научным руководством были построены мощные ядерные реакторы, в том числе исследовательские, сооружены самые мощные в свое время атомные электростанции. По его инициативе в нашей стране началось применение ядерной энергии на морском флоте, создание атомного подводного и ледокольного флота.

Широта научных интересов, эрудиция и организаторские способности Анатолия Петровича ярко проявились на посту директора Института атомной энергии, который он занял после кончины Курчатова в 1960 г. Уделяя большое внимание перспективам развития ядерной энергетики, он руководил разработкой в институте и в других организациях новых ядерных энергетических установок, в частности для металлургической и химической промышленности. Руководя крупнейшим по числу сотрудников и разнооб-



С Ю.С.Осиповым. 1993 г.

разию научных направлений институтом, Анатолий Петрович воспитал большой отряд талантливых ученых. Он всегда внимательно относился к нуждам сотрудников, стремился поддерживать в коллективе атмосферу увлеченности делом и доброжелательности.

Избрание президентом Академии наук СССР в 1975 г. Александров воспринял как почетное, но вместе с тем трудное и ответственное поручение. Выбор его кандидатуры на этот пост был вполне обоснованным. К этому времени Академия наук стала крупнейшим центром фундаментальной науки в стране, в котором были представлены практически все отрасли современной науки. Возглавить Академию должен был ученый, пользующийся высоким авторитетом в научном сообществе, обладающий большим опытом организаторской работы, высокими моральными качествами. Такие качества были присущи Анатолию Петровичу в полной мере.

Выступая перед Общим собранием АН СССР 25 ноября 1975 г. после единогласного избрания президентом, Александров изложил программу своей деятельности на этом посту, стратегию развития Академии. Главным в этой стратегии было

разумное сочетание глубоких фундаментальных исследований с прикладными работами крупного государственного значения, оптимальное соотношение между работами, актуальными для сегодняшнего дня, и созданием фундаментального задела на будущее. Он считал чрезвычайно важным сосредоточить силы именно на фундаментальных проблемах.

Известна способность Александрова предвидеть значимость того или иного исследования. В начале 1976 г. во вступительной речи на годичной сессии Общего собрания он назвал в качестве важнейшей работу Ж.И.Алферова по гетеропереходам в полупроводниках, подчеркнул, что она имеет революционизирующее значение для всей полупроводниковой электроники.

Анатолий Петрович осознавал огромное значение вычислительной техники и необходимость преодоления нашего отставания в этой области.

Как президент Академии он бережно относился к традициям академического сообщества, к сложившимся структурам управления. Однако жизнь требовала от него внести изменения в профиль некоторых отделений Академии, пересмотреть необду-

манные решения начала 60-х годов о передаче целого ряда институтов в промышленность. При его поддержке был повышен статус региональных научных центров Академии наук СССР.

Анатолий Петрович считал, что научные советы при Академии наук очень важны для координации исследований, и уделял большое внимание улучшению их работы. Около 20 лет он возглавлял Научный совет при Президиуме АН СССР по комплексной проблеме «Гидрофизика». Деятельность совета охватывала практически весь комплекс проблем, связанных со строительством и функционированием атомного подводного флота, и способствовала его успешному развитию.

Один характерный штрих к стилю работы Анатолия Петровича. По традиции, президент АН СССР был председателем Совета по координации научной деятельности академий наук союзных республик. Заседания проводились, как правило, в Москве во время или сразу после годичной сессии Общего собрания АН СССР. По предложению Александрова заседания совета после 1977 г. стали проводиться поочередно в столицах республик с тем, чтобы его члены могли ознакомиться непосредственно

Выступление перед
Общим собранием АН СССР после
избрания президентом. 1975г.



с деятельностью научных учреждений республиканских академий наук, работой вузов, других научно-исследовательских организаций республик.

Анатолий Петрович объехал буквально весь Советский Союз. География его научных командировок столь обширна, что трудно назвать уголок страны, где бы ни побывал он. В то же время он почти не выезжал за рубеж; известны лишь его поездки в ГДР (Берлин) и Швецию (Стокгольм). Несмотря на это, он уделял постоянное внимание международному научному сотрудничеству.

В делах Александрова четко прослеживается государственный подход. В центре его внимания постоянно были вопросы связи науки и производства, своевременное использование достижений науки в практике. Он всегда напоминал об ответственности ученых за внедрение научных достижений в народное хозяйство. Причины медленного внедрения он видел в несовершенстве хозяйственного механизма и давал поручение экономистам работать над этими проблемами. Он постоянно говорил, что на пути практической реализации научных разработок лежат межведомственные барьеры, неоднократно

указывал на то, что некоторые руководители чересчур легко идут на закупку технологических процессов и оборудования за рубежом и недостаточно настойчиво и быстро осваивают собственные разработки.

Он подчеркивал и еще один аспект этой проблемы: развивая науку и технику, промышленность, мы не должны рассчитывать на какую-либо помощь извне. Признавая полезность международных научных связей, он отмечал, что «сложнейшие научно-технические проблемы — атомную и космическую — мы сумели решить самостоятельно и во всяком случае не хуже, чем они были решены на Западе».

По свидетельству его коллег по работе над атомной проблемой, он уделял особое внимание вопросам безопасной эксплуатации атомных электростанций, ядерных энергетических установок. Поэтому особенно тяжело переживал Чернобыльскую трагедию, досадуя на то, что руководство страны не прислушалось к мнению его и Е.П.Славского о недопустимости передачи атомных электростанций из системы Минсредмаша (Минатома) в систему Министерства электростанций.

Известно, что Александров возглавил Академию наук СССР

в почтенном возрасте. Тем не менее он работал, как говорится, по полной программе. Обязанности президента Академии он совмещал с руководством Институтом атомной энергии им.И.В.Курчатова, рядом научных советов, он был председателем Комитета по Ленинским и Государственным премиям в области науки и техники, участвовал в работе Госкомитета СССР по науке и технике, других государственных и партийных органов.

Вся жизнь Александрова была подчинена служению науке и государству. Он никогда не отказывался от самых сложных заданий, поручений; часто, предвидя важное практическое значение какой-либо задачи, сам проявлял инициативу в ее разработке. Его поистине титаническая деятельность была достойным вкладом в научно-техническое развитие страны, ее экономику и укрепление обороноспособности.

Анатолий Петрович был трижды удостоен звания Героя Социалистического Труда, стал лауреатом Ленинской и Государственной премий, награжден многими орденами и медалями, отмечен высшей наградой Академии наук — большой золотой медалью им.М.В.Ломоносова. ■

В штабе атомной отрасли

Академик А.Ю.Румянцев,
министр Российской Федерации по атомной энергии,
член Редакционной коллегии журнала «Природа»

Анатолий Петрович Александров — один из организаторов и научных руководителей атомной отрасли в самый ответственный период ее развития, когда она стала важнейшей опорой могущества нашей страны. Даже в мировом масштабе не просто найти другой пример столь долгой и плодотворной жизни ученого, отданной служению родине на таких высоких и ответственных постах: президент Академии наук СССР, председатель Научно-технического совета Министерства по атомной энергии, председатель Междуведомственного технического совета по атомным электростанциям, директор Института атомной энергии им.И.В.Курчатова. Анатолий Петрович был научным руководителем программ по развитию атомной энергетики и атомного флота страны, активным участником создания технологии обогащения урана, разработки и строительства промышленных реакторов по производству оружейных материалов (плутония и трития). Даже одной из этих ипостасей хватило бы для наполнения творчески состоявшейся, успешной человеческой жизни. В отличие от многих своих коллег-ровесников, будущих товарищей по работе — И.В.Курчатова,

Ю.Б.Харитона, Я.Б.Зельдовича и др., — Анатолий Петрович в военное и предвоенное время был далек от ядерных исследований, поэтому проблема переквалификации в зрелые годы была для него острее, чем для многих, но он решил ее блестяще и с поразительной быстротой.

Невозможно даже в общих чертах осветить все стороны многогранной деятельности Александра. Цель настоящей статьи — сказать о вкладе Анатолия Петровича в научно-организационное руководство атомной отраслью. Полем деятельности Анатолия Петровича был Научно-технический совет (НТС) Министерства Российской Федерации по атомной энергии (в котором он проработал свыше полувека и который возглавлял четверть века, после безвременной кончины Курчатова).

Официальной датой начала сотрудничества Александра с нашим ведомством, в те годы называвшимся Первым главным управлением (ПГУ) при Совете Министров СССР, можно считать 23 сентября 1946 г.: в тот день состоялось заседание Научно-технического совета ПГУ, где первым пунктом повестки дня стало утверждение плана работ Института физических проблем (ИФП) на I квартал 1947 г. по докладу Александра, который Постановлением Совета Минис-

тров еще от 17 августа 1946 г. был назначен его директором*.

Стояла задача существенно изменить профиль института. Основными направлениями становились обогащение урана методом термодиффузии в жидкой фазе гексафторида и получение дейтерия разделением при низкой температуре

Оставаясь директором ИФП, Александров 19 сентября 1949 г. был назначен заместителем Курчатова, директора Лаборатории №2 АН СССР, по научной части.

Повышенное внимание государственного руководства к атомной проблеме в 40–50-е годы обеспечивало высокую динамику развития отрасли, но имело и свою теневую сторону, выражавшуюся подчас в скоропалительных кадровых решениях, неоправданных смещениях и перестановках. Первым таким случаем как раз и было решение о замене Петра Леонидовича Капицы на посту директора Института физических проблем. Через восемь лет такой сюрприз повторился, но этот случай менее известен: Постановлением Совета Министров СССР от 20 февраля 1954 г. в ведение Министерства среднего машиностроения, в состав Управления энер-

* До этого момента директором Института физпроблем был его создатель академик П.Л.Капица. См.: «Природа». 1994. №4. — *Примеч. ред.*

гетического оборудования, был передан Научно-исследовательский институт №58 Министерства оборонной промышленности; его директор, знаменитый конструктор артиллерийского вооружения Василий Гаврилович Грабин был понижен в должности, став начальником и главным конструктором одного из СКВ института, а на его место назначен Александров. К счастью, эта аномальная ситуация просуществовала всего год: по представлению нового министра среднего машиностроения А.П.Завенягина, сменившего В.А.Малышева, в марте 1955 г. Совет Министров СССР принял следующее постановление:

«1. Возвратить Научно-исследовательский институт №58 из Министерства среднего машиностроения в систему Министерства оборонной промышленности.

2. Обязать Министерство оборонной промышленности восстановить НИИ-58 как Центральный научно-исследовательский институт артиллерийского вооружения (ЦНИИ-58) по комплексной разработке и внедрению в производство артиллерийских систем и артиллерийских снарядов.

3. Назначить директором и главным конструктором ЦНИИ-58 т.Грабина В.Г. Тов. Александрову А.П. возвратиться к исполнению обязанностей заместителя директора Лаборатории №2».

Это позволило Анатолию Петровичу сосредоточиться на основной работе: он уже был правой рукой Игоря Васильевича Курчатова и как председателя НТС Министерства, и как директора Института атомной энергии (ранее носившего название Лаборатории №2, или Лаборатории измерительных приборов АН СССР — ЛИПАН).

В августе 1952 г. в правительство была направлена докладная записка за подписями Курчатова, Александрова и Н.А.Доллежала, в которой обосновывалась необходимость и возможность строительства атомной подвод-



С А.Н.Косыгиным.

ной лодки; в сентябре вышло соответствующее постановление правительства, и Александров был назначен научным руководителем проекта. Различные институты предложили восемь вариантов реакторной установки для первой лодки, но выбор пал на вариант Института атомной энергии. Позже Анатолий Петрович совместно с Курчатовым подготовил постановление правительства о проектировании и строительстве атомного ледокола, и вновь он был назначен руководителем проекта. Атомный ледокол «Ленин» (АЛЛ) был заложен на верфи Адмиралтей-

ского завода и 5 декабря 1957 г. спущен на воду.

В 1953 г. в Томске-7 приступили к строительству реакторов ЭИ-2 новой модификации — двухцелевых. Созданные под научным руководством Александрова главным конструктором Доллежалем, они кроме оружейного плутония производили (и производят до сих пор!) электрическую и тепловую энергию для городских нужд. Этот комплекс реакторов вошел в историю как Сибирская АЭС.

19 декабря 1955 г. состоялось исключительно важное для развития экспериментальной базы



С министром среднего машиностроения Е.П.Славским.

отрасли заседание Научно-технического совета. По его итогам Александров представил доклад «Строительство опытных реакторов в пятилетие 1956—1960 гг.», в обсуждении которого на следующем заседании совета приняли участие Д.И.Блохинцев, Н.А.Доллежал, А.И.Лейпунский, И.К.Кикоин, И.В.Курчатов, А.М.Петросьянц, Е.П.Славский и др. В докладе были проанализированы состояние и тенденции развития парка экспериментальных реакторов в США (там действовало уже свыше пятнадцати установок с разнообразными теплоносителями и типами нейтронных спектров), констатировалось двукратное отставание отечественной базы и намечались основные меры по преодолению этого отставания. Важнейшие пункты из предложений Александрова в дальнейшем были реализованы.

Предлагалось также модернизировать, повышая мощность, несколько действующих исследовательских реакторов. Выполнение этих планов позволило на полвека обеспечить отечественную науку облучательной, нейтронно-физической и материаловедческой экспериментальной базой. Многие из со-

зданных тогда установок действуют до настоящего времени.

В октябре 1959 г. состоялось заседание НТС, на котором Александров сделал доклад о новом направлении в разработке ЯЭУ-реакторов с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую. Этим фактически было положено начало космической ядерной энергетике, впоследствии десятки спутников были оборудованы энергисточниками, работающими на этом принципе.

Этапным было заседание НТС 30 сентября 1968 г., на нем Александров впервые поставил вопрос о разработке правил ядерной безопасности международного уровня, которые позволили бы, в частности, экспортировать отечественные энергетические реакторы на надежной правовой основе.

Как известно, в настоящее время именно исследования по безопасности занимают львиную долю времени и средств в процессе проектирования всех ядерных установок.

Постановлением Совета Министров СССР от 16 сентября 1971 г. создан Межведомственный технический совет по атом-

ным электростанциям (МВТС), соответствующее положение утверждено в январе 1972 г., и председателем совета назначен Александров, возглавлявший его в течение всех четырнадцати лет существования этой чрезвычайно авторитетной организации.

В начале 80-х годов в состав совета входили пять министров и председателей государственных комитетов СССР, десять академиков и членов-корреспондентов АН СССР, девятнадцать руководителей научно-исследовательских, конструкторских и проектных организаций. Задача совета заключалась в определении перспектив основных технических направлений развития атомной энергетики и направлений научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по дальнейшему совершенствованию АЭС, в выработке предложений по повышению их экономической эффективности, рекомендаций по вопросам безопасности в атомной энергетике и пр. Решения совета были обязательными для всех министерств и ведомств, участвующих в создании атомных электростанций.

МВТС своим решением от 1 декабря 1980 г. впервые обратил внимание на необходимость комплексного подхода к разработке схемы размещения АЭС на территории страны, при котором, помимо специфических для объектов атомной энергетики вопросов радиационной защиты населения и окружающей среды от действия конкретной АЭС, проводилось бы детальное рассмотрение экологических аспектов.

Необходимо сказать и о роли Анатолия Петровича в развитии исследований по управляемому термоядерному синтезу. Ему довелось принять «бразды правления» Курчатовским институтом, и его неустанным усилиям мы обязаны тем, что работы по созданию термоядерного реактора, выйдя на беспрецедентный уровень международного сотрудничества, достигли сейчас стадии технического проекта

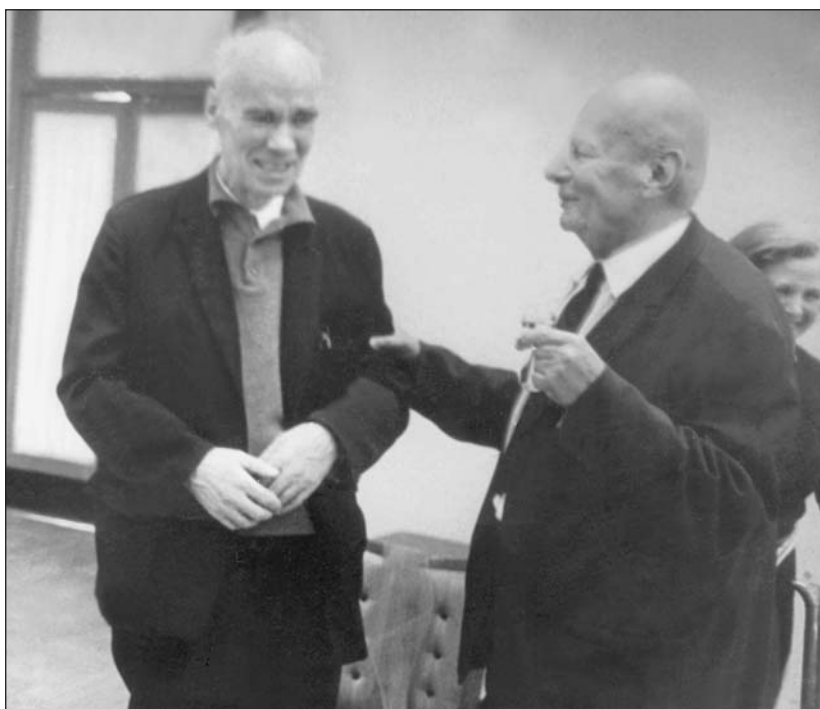
полномасштабной демонстрационной установки и, надеюсь, развертывания ее сооружения в ближайшие годы.

Задача управляемого термоядерного синтеза теснейшим образом связана с другим важным направлением прикладной науки, которое, видимо, стало для Александрова одним из последних. Речь идет о технической сверхпроводимости. Работы начались в 1961 г., после теоретического предсказания А.А.Абрикосовым несколькими годами ранее возможности существования жестких сверхпроводников второго рода, способных работать в сильных магнитных полях при высокой плотности тока. В Курчатовском институте Анатолий Петрович инициировал эти исследования лично.

Совсем недавно, на VII Александровских чтениях 2001 г., с подробными воспоминаниями об этом выступил Н.А.Черноплекков: «В середине мая 1961 г. в рабочей комнате Б.Н.Самойлова, известного специалиста в области физики низких температур, <...> раздался телефонный звонок. <...> Анатолий Петрович после приветствия сказал, что его очень заинтересовала возможность воспроизведения результатов работы, опубликованной в последнем номере журнала «Physical Review», по получению сверхпроводящих проводов на основе интерметаллического соединения Nb_3Sn и просил Б.Н.Самойлова прийти к нему для обсуждения этого вопроса. Б.Н.Самойлов с аспирантом М.Г.Кремлевым появились в кабинете Анатолия Петровича, и началось, как всегда, обстоятельное обсуждение. <...> Перед этой беседой он успел договориться с академиком А.А.Бочваром о том, что и бочваровцы примут участие в этой работе, а на первых порах подготовят ниобиевую трубку и композицию для ее заполнения <...> Это было стартом работ по прикладной сильноточной сверхпроводимости не только в Курчатовском институте, но и в стране.



С Ю.Б.Харитонов.



С И.К.Кикоиным.

Приведенный эпизод — одна из многочисленных возможных иллюстраций удивительно развитого у АП чувства нового, его умения оценивать перспективность этого нового и возможного практического его использования. Совершенно очевидно,

что, давая поручение по началу работ, АП руководствовался не только естественным для него, как для физика и инженера, интересом к проблеме практического использования сверхпроводимости, столь долгое время не находившей удовлетворительно-

го разрешения, но и ясным пониманием научным руководителем атомной программы страны все возрастающих потребностей атомной науки и техники в устройствах с сильными магнитными полями, генерируемыми наиболее экономичным образом. В конечном итоге, как показали последующие действия АП, он с самого начала видел задачу осуществления полного комплекса исследований и разработок, начиная с исходных материалов и кончая системами криогенного и диагностического обеспечения разрабатываемых сверхпроводящих магнитных систем (СМС) различного назначения и создания необходимой промышленной базы и организационной инфраструктуры для зарождающейся новой технологии — технологии сильноточной сверхпроводимости гелиевого уровня температур. При этом, в соответствии с традициями Курчатовского института, он настойчиво подталкивал к тому, что курчатовцы должны работать над проблемой с самого начала в тесном творческом сотрудничестве с ведущими технологическими, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями».

В 1977 г. впервые в мировой практике в Курчатовском институте, совместно с другими институтами, из отечественных сверхпроводников на основе сплава ниобий-титан была создана магнитная система для установок «Токамак-7», а затем в 1988 г. — и магнитная система для «Токамака-15» со сверхпроводниками из ниобий-оловянного соединения. Все 90-е годы Минатом продолжал совершенствование технологии низкотемпературных сверхпроводящих материалов в международной кооперации, созданной по проекту международного термоядерного энергетического реактора ИТЭР. Кульминацией этой работы стало успешное испытание российской сверхпроводящей катушки в Японии в 2001 г. Одновременно осваивалась технология высоко-

температурных сверхпроводников (ВТСП). На этой основе с 1999 г. совместно с РАО «ЕЭС России» разрабатывается опытно-промышленный токоограничитель из ВТСП-материалов. Для перехода к промышленному использованию сверхпроводников Минатом в 2002 г. принял решение о создании производства сверхпроводящих материалов на Чепецком механическом заводе в г.Глазове.

В 80-е годы отечественная атомная энергетика, бесспорным научным лидером которой был Александров, находилась на крутом подъеме. Сильнейшим ударом, отбросившим нас на десятилетия назад, стала чернобыльская авария. Она была и личной драмой для Анатолия Петровича, внесшего большой вклад в разработку и промышленных, и энергетических уран-графитовых реакторов. Он остро чувствовал свою ответственность. Но катастрофа не сломила его, он мобилизовал коллектив курчатовцев на ликвидацию последствий аварии и, несмотря на преклонный возраст, принял личное участие в этой работе. Таково было его правило — ни одна горячая точка, ни одно серьезное происшествие в секторе его ответственности не было оставлено им без помощи и руководства на месте, с какими бы неудобствами и прямыми опасностями это ни было связано.

20—21 сентября 1986 г. в Чернобыле под председательством Александрова состоялось совещание по пуску первого и второго энергоблоков ЧАЭС после выполнения «Мероприятий по повышению безопасности АЭС с реакторами РБМК», утвержденных Минсредмашем и Минэнерго СССР по согласованию с Госатомэнергонадзором 27 июня 1986 г. План пуска предусматривал капитальный ремонт и ревизию оборудования блоков. На первом энергоблоке в сложных условиях ликвидации последствий аварии был выполнен эксперимент по определению парового эффекта реактив-

ности при обезвреживании реактора (в холодном состоянии). Полученный результат указывал на существенное снижение коэффициента реактивности благодаря принятым после аварии техническим мерам. Совещание одобрило доклад и акт межведомственной комиссии и постановило приступить к физическому пуску первого энергоблока.

Но и годы, и тревоги, и стужавшаяся послечернобыльская атмосфера делали свое дело: в 1986 г. Анатолий Петрович оставил пост президента АН СССР, а 30 ноября 1987 г. подал следующее заявление министру Л.Д.Рябеvu:

«Глубокоуважаемый Лев Дмитриевич! В связи с преклонным возрастом (1903 г. рожд.) и, за последнее время, резким ухудшением здоровья прошу Вас освободить меня от должности директора Института атомной энергии им.И.В.Курчатова. Вместе с этим прошу освободить меня от работы в Коллегии Министерства и от председательствования в секции НТС по морским транспортным установкам. Членом Коллегии Министерства, вероятно, целесообразно назначить нового директора Института атомной энергии им.И.В.Курчатова; председателем секции НТС можно назначить члена-корреспондента АН СССР, начальника отдела ИАЭ т.Хлопкина Николая Сидоровича, осуществляющего научное руководство этим направлением нашей техники со стороны ИАЭ со времени организации его. *А.П.Александров*».

В начале 1988 г. руководство Институту атомной энергии принял на себя Е.П.Велихов.

Александров был свидетелем всех главных событий XX в. и принимал самое непосредственное участие в формировании истории второй половины этого бурного столетия. Мы, его ученики и младшие коллеги, всегда будем гордиться тем, что были его современниками и в меру своих сил помощниками в великом общем деле — техническом освоении атомной энергии. ■

Интерес к жизни

Академик Ж.И.Алферов,
лауреат Нобелевской премии
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Имя Анатолия Петровича Александрова мне знакомо с первых дней работы в лаборатории Владимира Максимовича Тучкевича ленинградского Физико-технического института (ФТИ) — с января 1953 г. Владимир Максимович рассказывал о своем друге, о совместной учебе в Киевском университете, о приглашении Абрамом Федоровичем Иоффе киевских друзей — А.П.Александрова, Д.Н.Наследова, В.М.Тучкевича, П.В.Шаравского на работу в Физтех в 1930 г. во время съезда физиков в Одессе. Я надолго запомнил рассказ о том, какое впечатление произвел Анатолий Петрович на Абрама Федоровича своей первой работой в Физтехе по тонкослойной изоляции, проявив талант исследователя и необычные для молодого человека мудрость и такт.

Впервые я встретился с Анатолием Петровичем в октябре 1958 г. в Северодвинске. Мы только что завершили успешные испытания специального полупроводникового устройства для нашей первой атомной подводной лодки и весело отпраздновали это событие в ресторане в городе под названием «У Эдика» (по имени его директора, бывшего ленинградца). В полночь, выходя из ресторана,

Владимир Максимович сказал нам, что Анатолий Петрович ждет его на своей служебной квартире и, несмотря на наши отказы (неудобно вваливаться к академику компанией в шесть человек), настоял, чтобы мы пошли все вместе. Анатолий Петрович встретил нас очень дружелюбно, заметив только, что у него припасена лишь одна бутылка, так как он ждал «только Володю». Мы просидели более двух часов, и меня поразило спокойное и очень терпимое отношение Александрова к резким нападкам на него профессора А.А.Азовцева из Института им.А.Н.Крылова, возбужденного нашим «банкетом» и встречей. Но больше всего Анатолий Петрович разговаривал со мной и В.И.Стафеевым — молодыми сотрудниками ФТИ. И во время этой первой встречи я почувствовал, как горячо и нежно он любит свою *alma mater* — ленинградский Физтех, как беспокоится о молодой смене старшему поколению, большая часть которого в конце войны и в первые послевоенные годы уехала в Москву в новые исследовательские центры по атомной проблеме.

В следующий раз встретился я с Анатолием Петровичем спустя 10 лет — в ноябре 1968 г., во время празднования 50-летия ФТИ им.А.Ф.Иоффе. На замеча-

тельно остроумном и веселом банкете в ресторане «Восток» в Приморском парке Победы я обходил знаменитых физтеховцев, собирая их автографы на компьютерном портрете Абрама Федоровича Иоффе. Подойдя к Анатолию Петровичу, я сказал: «Вы меня, конечно, не помните, мы с вами виделись десять лет назад». А в ответ услышал: «Дорогой Жорес, да как же я могу тебя не помнить, ты ведь тогда такую замечательную вещь сделал!» Так я первый раз убедился в исключительной памяти Анатолия Петровича на события и людей, самых, с моей точки зрения, для него обыденных и малозначимых.

В октябре 1975 г. Академия наук СССР отмечала свой 250-летний юбилей. Я в то время был членом-корреспондентом Академии, и меня пригласили на эти торжества. В Кремлевском Дворце съездов во время обычного для тех времен юбилейного ритуала — доклада и.о. президента академика В.А.Котельникова (академик М.В.Келдыш добровольно ушел в отставку, а новый президент еще не был избран), речи Л.И.Брежнев и выступлений рабочего московского завода, колхозницы из Подмоскovie и студентки МГУ — слово было предоставлено академику А.П.Александрову для чтения письма Академии



С учениками 79-й школы. Киев, 1926 г.

Центральному Комитету партии. Я с женой сидел довольно близко к сцене, в третьем ряду, и хорошо видел, как в то время, когда Анатолий Петрович шел к трибуне, сидевший в центре президиума Л.И.Брежнев показал пальцем сначала на сидевшего рядом В.А.Котельникова, потом на Анатолия Петровича и что-то сказал сидевшему с другой стороны Н.В.Подгорному. Обращаясь к супруге, я шепнул:

«Тамара, а знаешь, что сейчас Брежнев сказал Подгорному?» — «Откуда мне знать, да и как ты можешь знать?» — «А вот я знаю. Брежнев сейчас сказал, что президентом Академии хочет быть этот, а будет вот тот, и показал на А.П.». Через несколько месяцев Анатолий Петрович был избран президентом АН СССР.

Несколько лет спустя, будучи дома у Анатолия Петровича, я поведал ему о моих домыслах во

время юбилейного собрания, на что А.П. философски заметил: «Что ж, может, так и было, потому что вопрос был решен вскоре после этого».

В годы его президентства (1976—1986) мне приходилось встречаться с ним и в Москве, и во время его довольно частых приездов в Ленинград. Должен сказать, что мы имели уникального президента Академии наук Советского Союза. Огромный авторитет ученого, инженера и государственного деятеля он использовал в полной мере для развития фундаментальных и прикладных исследований в нашей стране. Я бы отметил два особо ценных качества: во-первых, в любом обсуждении проблемы вы сразу чувствовали его интерес к делу, именно к делу, к его научной и государственной важности, без какой-либо конъюнктурной заинтересованности; во-вторых, Анатолий

Петрович ценил в людях прежде всего бескорыстное служение науке и стране и умел находить и поддерживать порядочных, честных и способных людей.

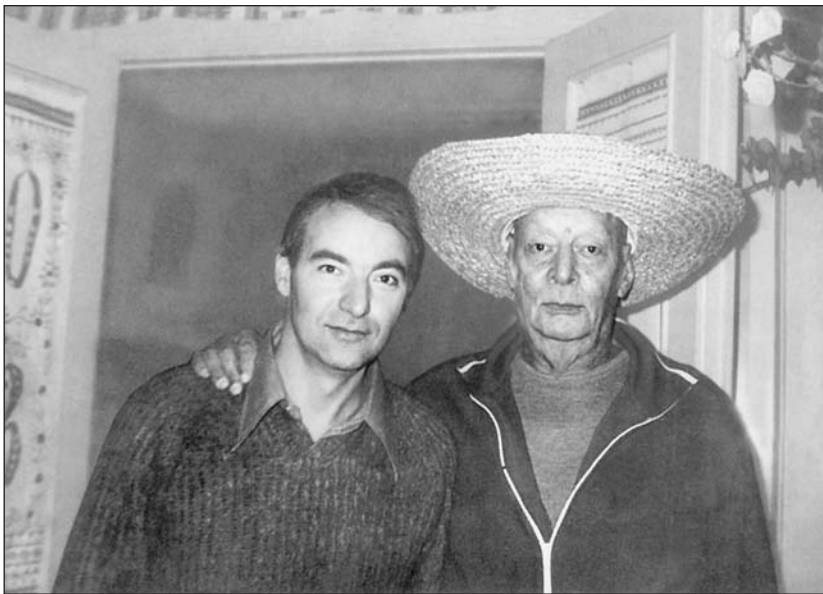
Конечно, нас всех привлекали его неиссякаемое чувство юмора и его великолепные розыгрыши. Выступая оппонентом в 60-е годы в ФТИ у своего любимого ученика Вадима Робертовича Регеля, он вспоминал, как они вместе подплыли на небольшом корабле к Сталинграду в августе 1942 г., занимаясь тогда размагничиванием судов Волжской флотилии. Нужно сказать, что воспоминания о работах по защите кораблей Военно-морского флота от магнитных мин, которыми он руководил до и во время Великой Отечественной войны, всегда были его любимой темой. Особенно в последние годы, когда чернобыльская катастрофа стала его личной трагедией. По-моему,



Ученики А.Ф.Иоффе в Физтехе. Слева направо:
Д.Н.Наследов, А.П.Александров, Л.М.Неменов,
Ю.П.Маслаковец, И.В.Курчатов, П.В.Шаравский,
О.В.Лосев. 1932 г.



В 1935 г.



С сыном Александром. 1977 г.



С дочерью Марией и сыном Юрием. 1990г.

средства массовой информации были часто несправедливы к нему, хотя он себя судил гораздо строже.

Эпоха же размагничивания спасла жизни многих наших моряков. Тогда же на защите диссертации он, рассказав о научных заслугах диссертанта, добавил: «А еще я хочу сказать, какой замечательный человек Вадим. Подплыли мы к Сталинграду,

а город горит под непрерывной бомбежкой. Мы пристали к песчаной косе на другой стороне Волги, и В.Регель моментально сел штопать заплату на штанах. А в это время немецкие самолеты стали бомбить нас. Мы спрятались, а Вадим ползает по песку на открытом месте. Я кричу: «Вадим, в укрытие», а он отвечает: «Я иголку потерял и должен сначала найти!»

У меня всегда был большой интерес к истории наших исследований по физике, и в частности к истории работ по атомной проблеме. В 1966 г., будучи в ФРГ, я познакомился с известным физиком профессором Н.В.Рилем. Профессор Риль с группой немецких ученых работал в СССР в 1945—1955 годах, активно участвуя в исследованиях по урану. После успешных испытаний нашей первой атомной бомбы ему, единственному из немецких физиков, было присвоено звание Героя Социалистического Труда. Наше правительство подарило ему дом в Москве и дачу, а по возвращении в Германию в 1955 г. выплатило значительные суммы, компенсируя их стоимость в твердой валюте. Николай Васильевич (так мы его называли) очень много рассказывал об этих самых интересных, как он считал, в его жизни годах. Я спросил его, на каких условиях он был привезен к нам: в качестве пленного или добровольно? Риль ответил, что он работал по контракту.

Как-то сидя у Анатолия Петровича дома, я рассказал ему о встречах с Рилем и узнал, что дом, в котором жил Анатолий Петрович, как раз и был подарен в свое время Николаю Васильевичу и Анатолий Петрович хорошо его знал. Я спросил Анатолия Петровича: «Был ли профессор Риль пленным или приехал добровольно?» Анатолий Петрович медленно произнес: «Конечно, он был пленным». Подумал и негромко добавил: «Но он был свободным, а мы были пленными».

Вспоминая Анатолия Петровича — президента Академии наук, нельзя не отметить его мастерское, исключительно свободное ведение общих собраний Академии наук. Уже в середине 80-х, когда в нашей жизни начали пышным цветом расцветать астрологи, экстрасенсы и парапсихологи, а отдельные академики всерьез стали пропагандировать Джуну Да-

виташили, ее ауру и прочую ахинею, член-корреспондент Академии Михаил Владимирович Волькенштейн выступил на Общем собрании, вполне справедливо требуя активизации борьбы Академии с лженаукой. Анатолий Петрович по этому поводу сказал: «Я полностью с вами согласен, Михаил Владимирович. Я вспоминаю, как в 1916 году мои сестры увлеклись спиритизмом. В смутное время всегда возникают такие увлечения. Мой отец, обращаясь к ним, сказал: “Я еще могу поверить, что вы можете вызвать дух Льва Толстого или Антона Чехова, но чтобы они с вами, дурами, по два часа разговаривали, я в это никогда не поверю”».

Анатолий Петрович в свои президентские годы часто говорил, что он выполняет функцию свахи, сводя ученых с новыми результатами, с той или иной промышленной организацией, где эти результаты наиболее эффективно могут быть применены. Рекомендации Александрова очень часто оказывались безошибочными, и можно было только снова удивляться его памяти, терпению и редкой интуиции.

Как-то в конце 70-х годов он приезжал в Ленинград вручать Физтеху знамя победителя в соревновании академических институтов. Вечером на праздничном ужине в Ленинградском Доме ученых на Дворцовой набережной — доме, который Александров очень любил, — он произнес замечательный тост: «Я — ученик Абрама Федоровича Иоффе. Абрам Федорович учил нас, что самое главное в жизни — это хорошо работать самому, но еще важнее научить хорошо работать других. Я — достойный ученик Абрама Федо-



С сыном Петром и его женой Татьяной. 1965г.



С женой Марианной Александровной и дочерью Марией. 70-е годы.

ровича — и хорошо работал сам, и научил хорошо работать других — у меня четверо детей и более двадцати внуков».

Закljučая эти короткие заметки, я хочу сказать: Анатолий Петрович Александров — замечательный ученый и гражданин,

настоящий патриот своей страны. Сотни и тысячи его «детей» и «внуков» в нашем научном и технологическом сообществе в это необычайно трудное время должны доказать своей работой, что мы его достойные ученики. ■

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Смерть Сталина. Берия*

Академик А.П.Александров

Значит, Сталин умер. Я в это время находился в Москве. Было много всяких предшествовавших этому ситуаций, в общем совершенно неожиданных. Вдруг возник процесс врачей. Когда объявили, что врачи-евреи — сионистская группа, это чуть не первый был разговор насчет того, что сионисты какие-то существуют или не существуют. Ну, я бы сказал, довольно позорное дело. И я полню, что тогда сказал всем нашим ребятам, чтобы ни в коем случае это не обсуждать никак.

Было ясно видно, что это липа совершенная. Абсолютная фальшивка, грубейшая. <...> В свое время писали, что Орджоникидзе умер от того, что кто-то поливал шторы в его комнате солями ртути. Надо быть ребенком, чтобы считать, что это могло чем-то ему повредить. Потому что каломель, хлористая ртуть, она применялась как слабительное в течение сотен лет. А что солями ртути поливали занавески, так это можно стены сделать из солей ртути, и ничего не будет. Очень низкопробная работа.

Ну, в общем, положение было такое, что несколько дней печатались бюллетени в газетах о состоянии его [Сталина] здоровья. И потом он умер.

Я приехал тогда к Махневу для обсуждения вопросов по первой лодке, и он вместе со мной прошел к Берии. Я докладываю Берии об этом своем деле, в это время входит Маленков. Я его знал, и вот Маленков обращается к Берии, возмущается, что кого-то задавили в толпе и еще что-то такое. И вдруг Берия говорит: «Пора

прекращать эту комедию». А тогда, надо сказать, все-таки имя Сталина было очень серьезное имя. И как-то, хотя я и считал, что вот эти преследования и так далее, что все это не то, но все-таки именно Сталин способствовал победе нашей страны в войне. Что он в конечном счете развивал и наши дела. У меня, конечно, было к нему очень большое уважение, кроме страха. И вдруг такую формулировку услышать от его ближайшего помощника, когда он еще лежит в гробу. Как-то это меня так резануло, я был просто потрясен. Но действительно на следующий день все это быстро закончили, все эти похороны.

Вообще давление со стороны Берии на всю нашу работу было сильным. Вот, например. Это произошло чисто случайно — на комбинате вывесили флаг. Просто работяги имеют такой обычай: когда сдается объект, они вывешивают флаг. Ну и так как трубища была здоровенная, то видно было этот флаг со всей округи. И тут же, конечно, поднялся по этому поводу невероятный скандал. Флаг этот моментально оттуда стянули. Кого-то посадили. Кого-то сняли. Целый был переполох, довольно большой. Берия сам по этому поводу звонил, и Махнев звонил.

Еще вот Курчатова. Когда-то он решил поучиться ездить на лошади. Сел он на лошадь, где-то это было не в Москве. И тут же, через 20 минут, ему запретили, позвонил Берия — а ну, слезайте немедленно. Да, было такое.

А как нам со Славским запретили ездить на охоту на Урале. Тоже Берия запретил. Там, на Урале, был такой ужасный режимный генерал, который буквально каждые пять минут звонил Берии, очень трудно было с ним. И человек

* Магнитофонная запись. Из книги П.А.Александрова «Академик Анатолий Петрович Александров. Прямая речь» (М., 2002. С.164—167).

необычайно таких отвратительных качеств был. И кто-то, значит, донес этому генералу, что в отстойник сбросили какое-то количество плутония. Что не так провели операцию, мол, на химическом заводе. И он дал распоряжение проанализировать, что тут есть. Эти самые деятели — а там осколки, концентрированные довольно, — говорят, что нам нужно, чтобы воду спустить и взять тогда со дна отстой. И он дал команду спустить этот пруд. И этот пруд в реку, из которой масса народу пили, сбросил, и это прошло аж до большой реки, в которую впадала наша маленькая речка. Он ни с кем и не посоветовался, он сам командовал. Его за это дело расстрелять мало было. Но потом, слава Богу, из-за того, что он очень совался в эти все места, у него сделался рак легких, и он на этом деле кончился. И нет ни одного человека из наших, который бы о нем пожалел.

Вдруг в какой-то момент меня и многих других отправляют в то место, где изготавлилось оружие. С таким заданием, что вот подходит срок сдачи — и что-то не ладится. Это было летом 53-го года.

Мы приехали туда, стали разбираться, оказалась довольно интересная вещь. Попросту говоря, детали, спрессованные из гидридов в нужной комбинации, из-за того, что три-четыре радиоактивный, меняют свои размеры. Они пухнут и так далее. И вот мы думали, что и как там сделать. В общем, нужно было переходить на какие-то новые идеи. И над нами страшно сидели генералы, которых прислал тогда Берия вместе с нами, и нам было строгое задание дано — работу эту моментально закончить, передать первый образец оружия этим генералам, вот и все. И вдруг в какой-то день Курчатов звонит Берии, Курчатов там тоже был, и он должен был каждый день два раза ему докладывать, как обстоит дело. И он докладывал словами, так сказать, условными. Хотя это было по ВЧ. И вдруг он звонит — Берии нет. Он звонит его помощнику Махневу — его нет. Все эти генералы, которые были, начинают быстренько исчезать. Нам приносят газету — спектакль в Большом театре, правительство сидит в ложе, среди них Берии нет. Какие-то слухи, какие-то странные переговоры. В общем мы нашей технической стороной занимаемся, а уже сдавать-то некому эту штуку. Прессинг прошел. Мы были посланы туда с четким поручением — закончить работу очень быстро и передать готовое изделие этим генералам.

Вот у меня такое впечатление получилось, что Берия хотел использовать эту подконтрольную ему бомбу для шантажа. И не только у меня — у Курчатова тоже было такое же впечатление, потому что мы по этому поводу с ним говорили, прогуливаясь там в садике.

Нет, мы не задержали решение вопроса, но его просто нельзя было быстро решить. А позже мы поняли, что была, видимо, именно такая затея, у него [Берии], может быть, не было доступа к другому виду оружия, готовое оружие находилось в руках у Маленкова. Очень была накаленная обстановка, я бы сказал. Причем нас так жали. Мы — скорей, скорей, скорей что-то такое соображали, что-то делали, варианты какие-то другие обсуждали, какие-то другие прессовки делали... Там потом изменили конструкцию сильно, но это было уже без моего участия.

Комментарий П.А.Александрова

Теперь уже, пользуясь опубликованными данными, можно восстановить, что речь шла действительно о совершенно новой бомбе, это так называемая «слойка», сделанная по идее А.Д.Сахарова. Через много лет А.П. пытался выяснить подробности тех дней в 1953 г. у Харитона, но тот ничего отчетливо не мог вспомнить.

Хотел ли действительно Берия шантажировать своих оппонентов, или это просто было в воображении Анатолия Петровича, сейчас установить трудно. Однако опубликованные материалы говорят о возможности такого шантажа. Вот что сказал на июльском (1953) Пленуме ЦК А.П.Завенягин (тогда — заместитель министра среднего машиностроения):

«Мы подготовили проект решения правительства (по испытанию водородной бомбы). Некоторое время он пролежал у Берия, затем он взял его с собой почитать. У нас была мысль, что он, может быть, хочет поговорить с товарищем Маленковым. Недели через две он приглашает нас и начинает смотреть документ. Прочитал его, внес ряд поправок. Доходит до конца. Подпись — Председатель Совета Министров Г.Маленков. Зачеркивает ее. Говорит — это не требуется. И ставит свою подпись».

Это же подтверждает и Маленков в своем выступлении: «Берия перечеркнул этот документ и единолично вынес решение, скрыв его от ЦК и правительства». Смысл этого сокрытия вполне мог означать, что Берия заранее готовился к обладанию бомбой для шантажа. В последние дни перед арестом, может быть, он получил информацию о готовящейся против него акции и сильно активизировал процесс подготовки бомбы и передачи ее ему, но не успел.

Чернобыль*

Академик А.П.Александров

<...> Чернобыль — трагедия и моей жизни тоже. Я ощущаю это каждую секунду. Когда катастрофа произошла, и я узнал, что там натворили, чуть на тот свет не отправился. Потом решил немедленно уйти с поста президента Академии наук, даже обратился по этому поводу к М.С.Горбачеву. Коллеги останавливали меня, но я считал, что так надо. Мой долг, считал я, все силы положить на усовершенствование реактора. Отвечать за развитие атомной энергетики и конкретно за чернобыльскую катастрофу — разные вещи. Судите сами. Хотя, впрочем, убежден, что сказанное мною вызовет новый поток брани на мою старую, лысую голову. Но я покривил бы душой, если бы согласился с мнением, что теперь атомную энергетику развивать не надо и все АЭС следует закрыть. Отказ человечества от развития атомной энергетики был бы для него губителен. Такое решение не менее невежественно и не менее чудовищно, чем тот эксперимент на Чернобыльской АЭС, который непосредственно привел к аварии.

Мне часто задают вопрос: знал ли я о нем? В том-то и трагедия, что я не знал. Никто вообще в нашем институте не знал о готовящемся опыте и не участвовал в его подготовке. И конструктор реактора, стоящего на Чернобыльской АЭС, академик НА.Доллежалъ тоже ничего об этом не знал. Когда я потом читал расписание эксперимента, то был в ужасе. Множество действий по этому расписанию привело реактор в нерегулярное состояние. Не буду вдаваться в технические подробности, скажу только, что эксперимент был связан со снятием избыточного тепла. Когда реактор остановлен, турбогенератор по инерции крутится и дает ток, который можно использовать для нужд станции.

Спрашивают также, кто разрабатывал проект. Руководство АЭС поручило подготовить проект эксперимента Донтехэнерго, организации, которая не имела дела с АЭС. Дилетанты могут руководствоваться самыми добрыми намерениями, но они вызвали грандиозную катастрофу — так и произошло в Чернобыле. Дирек-

тор станции, не привлекая даже заместителя главного инженера своей АЭС, физика, разбирающегося в сути дела, заключил договор с Донтехэнерго о проведении работ. Регламент эксперимента был составлен и послан на консультацию и апробирование в институт «Гидропроект» имени Жука. Сотрудники института, имеющие некоторый опыт работы с атомными станциями, не одобрили проект и отказались его визиловать. Я часто теперь думаю: хоть бы «Гидропроект» поставил кого-либо из нас в известность! Но его сотрудники не могли даже предположить, что на станции все-таки решатся проводить эксперимент. В нашем бывшем министерстве, Минсредмаше, об эксперименте тоже не знали: ведь Чернобыльская АЭС была передана Минэнерго. Может быть, это и было первой ошибкой... По-всякому можно относиться и к бывшему Минсредмашу, попрекать его отсутствием гласности, излишней секретностью, но там были профессионалы и по-военному дисциплинированные люди, четко соблюдающие инструкции, что в нашем деле чрезвычайно важно.

Существует инструкция, которую обязан соблюдать персонал любой АЭС. Это технический регламент, гарантия ее безопасности. Так вот, в самом начале нового, ошибочного регламента Донтехэнерго записано: «Выключить систему аварийного охлаждения реактора — САОР». А ведь именно она включает аварийное охлаждение реактора. Мало того, были закрыты все вентили, чтобы оказалось невозможным включить эту систему. Ясно, что никто не имел права вести работу по «самодельному», а не по утвержденному регламенту.

Двенадцать раз эксперимент нарушал действующую инструкцию по эксплуатации АЭС! Одиннадцать часов АЭС работала с отключенной САОР! Можно сказать, что изъяны существуют в самой конструкции реактора. Однако причина аварии все-таки — непродуманный эксперимент, грубое нарушение инструкции эксплуатации АЭС. Реакторы такого типа стоят и на Ленинградской, и на Курской АЭС — всего пятнадцать штук. Почему же авария произошла в Чернобыле, а не в Ленинграде, например? Повторяю, недостатки у реактора есть. Он создавался академиком Доллежалем давно, с учетом

* Из предисловия к книге НД.Тараканова «Две трагедии века» (М., 1992).

© А.П.Александров

знаний того времени. Сейчас эти недостатки уменьшены, компенсированы. Дело не в конструкции. Вы ведете машину, поворачиваете руль не в ту сторону — авария! Мотор виноват? Или конструктор машины? Каждый ответит: «Виноват некомпетентный водитель».

Пользуясь случаем, что пишу предисловие к честной книге генерала, прошедшего горнило Чернобыльской АЭС, хочу повторить в назидание потомкам следующее. Атомная энергетика — стимул для развития промышленности вообще. Нельзя сейчас закрыть ее на 15—20 лет, как полагают некоторые. Это значило бы окончательно растерять специалистов, а потом повторить весь путь заново. И так наши специалисты под давлением общественного мнения разбегутся кто куда. Нужно продолжить и существование совершенствовать работы по АЭС.

Меня очень тревожит гонение на атомную энергетику, которое началось в стране. Не может целая отрасль науки и промышленности быть подвергнута остракизму. В этом отношении уже есть отрицательный опыт с генетикой и кибернетикой. Я по-прежнему убежден

в необходимости развития для страны атомной энергетики. Убежден, что при правильном подходе к ней, при соблюдении всех правил эксплуатации она безопаснее, экономически надежнее тепловых станций, загрязняющих атмосферу, гидростанций, уродующих реки.

Когда пускали атомные электростанции, я часто брал туда с собой детей, потом внуков. Я не боялся аварий при этих пусках, хотя всегда были недостатки. Помню, и на испытания атомхода «Ленин» приехал с младшим сыном, школьником. Пуск любого нового блока АЭС обязан проявить все его недостатки. Пуск четвертого блока Чернобыльской АЭС в 1984 году также проявил недостатки, и были приняты меры к их устранению, но полностью эта работа закончена не была. Именно поэтому так называемый оперативный запас реактивности был гораздо ниже нормы, когда реактор нужно было — и полагалось — остановить. И аварии не было бы! Безопасность работы — единственный критерий существования АЭС. Выполнить его можно, лишь учитывая уже имеющийся опыт работы.

ЛЯП и его роль в русском языке *

(Непроизнесенный доклад)

ЛЯП — это Лаборатория ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), первое по времени основания научное учреждение Дубны. В феврале 1974 г. этой лаборатории исполнилось 25 лет — возраст, еще не дававший повода для грусти. Наверное, поэтому юбилей был отмечен не только почти 20 докладами об итогах работы лаборатории, не только торжественными приветствиями от различных организаций нашей страны и стран-участниц ОИЯИ, но и разного рода дружескими шутками. К их числу относится и воспроизводимое ниже лингвистическое исследование.

Академик А.П.Александров

Важные события в жизни народов всегда оставляют след в их языках. В языках, почти как в зеркале, отражаются победы и поражения, эпохи расцвета и упадка, роль страны на международной арене. Исследуя словарный состав

языка, т. е. лексику, можно, как известно, найти прямые его связи с судьбой народов. Например, татарское нашествие оставило в нашем языке множество слов, не свойственных ему по звучанию, таких как **кнут**, **алтын**, **армяк**.

Возникновение слова — это в большинстве случаев возникновение понятия. Нельзя переоценить важность исследований в этой области,

* Опубликовано в «Природе» (1974. №8. С.127—128). Работа секретных и патентоспособных сведений не имеет. — Примеч. авт.

© А.П.Александров

поэтому мы сделали попытку изучить слово-понятие **ЛЯП**, которое звучит в корне многих исконных слов русского языка.

Примем как ключ для исследования часто применяемое производное от **ЛЯП** слово **аляповатый**. Аляповатый — плохой, без вкуса сделанный, неэстетичный предмет с претензиями на художественную ценность.

Как известно, приставка **а-** выражает отрицание или отсутствие того или иного качества (например, **атеизм, асептика**). Следовательно, слово **ЛЯП** должно обозначать понятие, противоположное слову **аляповатый**, т. е. **ЛЯП** — значит хороший, отлично сделанный, имеющий большую ценность, художественную или научную (замечу кстати, что еще при Екатерине II слова **художества и науки** выражали понятия равной значимости, и только в наше время слово **художество** претерпело смысловую инверсию, и одно из его значений — хулиганство или антиобщественное, часто уголовно наказуемое поведение).

Для проверки нашей гипотезы относительно значения слова **ЛЯП** обратимся к величайшему произведению древнерусской литературы — «Слову о полку Игореве». Там четко сказано: «Не лепо ли...», причем слово **лепо** — это положительное понятие, эквивалентное **ЛЯПу**, сохраняющееся и в производных словах: **лепость, лепота, благолепно, великолепно**. Слова **нелепо, нелепица** (вспомните: **аляповато**), характеризующие отсутствие хороших свойств, т. е. **лепости**, подтверждают смысл слова **лепо**.

Ясно, что **ЛЯП** и **леп** — одно и то же слово и понятие, так как переход буквы **е** в букву **я** (внутренняя конверсия) аналогичен часто встречающимся в языке переходам букв, не вносящим смысловых изменений. Такие слова, как **благолепие, великолепие, нелепость**, сохранили старое начертание. Если бы эти понятия формировались сейчас, то мы писали бы **благоляпие, великоляпие, неляпость**. Может быть, так и будет, просто до этого еще не дошли руки у Орфографической комиссии. Таким образом, идентичность современного **ЛЯП** и древнего **ЛЕП** полностью доказана, как доказан и смысл

понятия, описываемого этими словами. Этот факт дает возможность расшифровать ряд производных от **ЛЯПа** слов (см. табл.).

Таблица является блестящим подтверждением высокой эвристичности нашей идеи. Конечно, некоторые скептики, стремящиеся охаивать все и вся, говорят о незаконности приложения к анализу понятия **ЛЯП**, возникшего два с половиной десятка лет тому назад, словаря «Слова о полку Игореве». В своем невежестве они и не подозревают, что возражают против общего принципа временной инверсии и предвосхищения понятий, постоянно наблюдаемого в развитии языков. Всякий, кроме этих скептиков, знает, например, что слово-понятие **фараон**, обозначающее царских полицейских, прилагалось, еще за тысячелетия до их появления, в Древнем Египте к верховным властителям! Это ли не предвосхищение грядущего исторического факта?

Но не дадим невеждам отвлекать нас. Продолжим наше исследование вглубь. Как известно, организатором и руководителем **ЛЯПа** является член-корреспондент АН СССР Венедикт Петрович Желепов. Вспомним о принципе эквивалентности корней **-ЛЯП** и **-леп**, и нам станет ясно, что только древностью фамилии объясняется ее написание Желепов, а по современным правилам надо бы писать Джеляпов. Что же такое префикс **Дже**? Это очень распространенный префикс, подчеркивающий причастность к физике. Некоторые даже удваивали его для усиления впечатления, например крупнейший физик **Джи-Джи Томсон** (J.J.Thomson). Итак, **Дже** — это буква **Ж**. Таким образом, законное начертание фамилии Желепова установлено: **Ж.Ларов**, или **Джиляпов**. (Зная это начертание точно, мы можем позволить себе роскошь сохранить привычное написание.)

Вот сколь плодотворными являются исследования, не замкнутые шорами одной науки. Вот какой необычайно большой след в русском языке, начиная с древнерусской формы и кончая современной, оставило такое крупное событие, как образование **ЛЯПа**. Куда там татарскому нашествию!

Слова, производные от ЛЯП (леп)	Значения слов
ляпать	делать что-либо по методам и обычаям, принятым в ЛЯПе
вляпаться	поступить на работу, приехать в командировку в ЛЯП
обляпаться	освоить творческие методы ЛЯПа
заляпаться	следовать за ЛЯПом и под его руководством
ляпнуть	сказать что-нибудь некстати (смысловая инверсия, аналогичная упомянутой ранее инверсии понятия искусство)
тяп-ляп	сделать что-либо быстро и хорошо, как в ЛЯПе
Ляпкин-Тяпкин	деятель, работающий быстро и хорошо, в стиле ЛЯПа

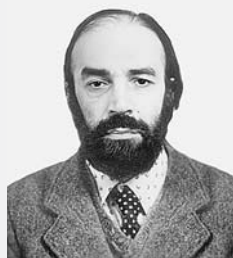
СВЕТ И ЦВЕТ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Светом и цветом наполнен весь живой мир. Своими «лампочками» подмигивают жуки светляки, светится множество морских организмов — от бактерий до рыб. Поразительно и богатство красок обитателей подводного царства. Считалось, что за цвет отвечают специальные пигменты или их комплексы с белками, но совсем недавно выяснилось: окраска кораллов и других животных обусловлена белками особого семейства. Открыты они были коллективом отечественных ученых в 1998 г., а саму идею поиска таких белков предложил Ю.А.Лабас. Вместе с коллегой, А.В.Гордеевой, он расскажет на страницах «Природы» об этом открытии — одном из трех крупнейших в биологии за последние 10 лет, как охарактеризовал его президент Российской академии наук. Однако о цвете и цветных белках речь пойдет в следующем номере журнала, а здесь авторы знакомят читателя с биолюминесценцией — излучением света. Отрадно, что свет и цвет живого рассматриваются не просто как биологические явления, а делается попытка объяснить их возникновение в процессе эволюции.

Неразгаданная Дарвином биолюминесценция

Ю.А.Лабас, А.В.Гордеева

Дарвинова триада факторов эволюции — наследственность — изменчивость — естественный отбор подвергалась нападкам на протяжении полутора веков, прошедших после первого издания «Происхождения видов» (1859). Открытие законов Г.Менделя, достижения популяционной и молекулярной генетики внесли, конечно, серьезные коррективы в первоначальные представления о процессе эволюции. Но стержневая идея отбора уцелела. Однако одной из трудно поддающихся решению проблем неизменно оставалось зарождение в филогенезе новых признаков, биологических функций. Считается, что они возникают через смену од-



Юлий Александрович Лабас, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института биохимии им.А.Н.Баха РАН. Область научных интересов — биофизика клетки, фотобиология, медицинская биофизика, теория эволюции.



Анна Викторовна Гордеева, аспирантка того же института. Научные интересы связаны с биофизикой и биохимией клетки, теорией эволюции.

© Ю.А.Лабас, А.В.Гордеева

них функций другими, например, рыбьих парных плавников — конечностями четвероногих наземных позвоночных; передней пары конечностей — крыльями, которые появились у птерозавров, птиц и рукокрылых млекопитающих.

В то же время известно, что новые функции часто представляют собой результат закрепления и дальнейшего усовершенствования отбором случайных макромутаций — скачкообразных изменений генетической информации, приводящих к обретению организмом чем-то полезным ему новых наследственных признаков. Они-то и дают их обладателям те или иные преимущества сравнительно с исходным генотипом. В результате такие «удачные находки» подхватывает естественный отбор.

Ясно, что у организма уже должны существовать необходимые предпосылки, чтобы за счет всего лишь одной макромутации или их небольшого числа возникла новая функция. Чем ближе к истокам жизни появлялись в эволюции новые биологические функции, тем труднее объяснить, как это происходило. Так, по настоящее время едва ли можно ответить на вопросы, когда и как в клетках «обосновались» рибосомы — очень сложно устроенные клеточные органеллы, ответственные за синтез (трансляцию) белков. Столь же загадочно происхождение клеточных мембран, самой генетической информации и т.д., и т.п.

В «Происхождении видов» Дарвина есть специальная глава «Частные трудности теории естественного отбора». В ней рассматриваются в основном два примера — возникновение органов свечения у разных организмов и электрических органов у рыб. Дарвин не смог объяснить появление этих органов, исходя из своей теории, но ему было ясно: их функции связаны с поведением животных. Мишенью отбора могли быть лишь такие признаки неопределенной

изменчивости, при которых у отдельных особей несветящихся организмов вдруг возникло свечение, хорошо заметное в темноте, или когда у неэлектрических рыб внезапно рождались индивиды, генерирующие вполне ощутимые электроразряды.

Как ни странно, со времен Дарвина происхождению биолюминесцентных и электрических органов было посвящено очень мало работ (в их числе несколько наших статей [1–3]). За полтора столетия не сформировалось общепризнанного мнения о том, как могли возникнуть эти феномены. Мы предлагаем читателю свою точку зрения, но только в отношении биолюминесценции.

Светятся многие, и по-разному

Биолюминесценцией называют свечение живых организмов, хорошо видимое в темноте человеком и многоклеточными животными. Сейчас известны многие сотни биолюминесцентных видов, даже родов насчитывается более 700. Светиться способны бактерии, одноклеточные эвкаротические организмы (жгутиконосные водоросли динофлагеллаты, радиолярии), грибы и подвижные многоклеточные животные разных типов — от полипов, медуз и гребневиков до кальмаров, ракообразных и рыб. Большинство светящихся существ морские, среди них много глубоководных. Из наземных — отдельные виды грибов, земляных червей, улиток, многоножек, комаров и жуков. Пресноводных биолюминесцентных видов пока обнаружено чрезвычайно мало: новозеландский брюхоногий легочный моллюск (*Latia neritoides*) и несколько видов паразитических бактерий.

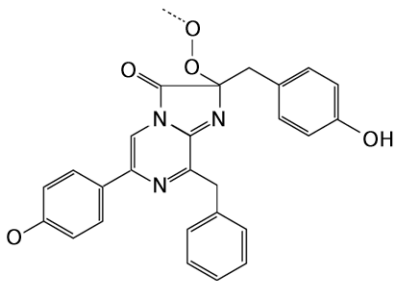
У многоклеточных животных обычно излучает свет не все тело, а только специальные клетки фоточиты, часто сгруппирован-

ные в особые органы свечения — фотофоры. У некоторых рыб и кальмаров они очень сложно устроены (отражатель, линза и т.д.). Иногда фотофоры светятся непрерывно из-за обитания в них симбиотических фотобактерий. Но обычно свечение импульсное, контролируемое нервной системой. Оно бывает внутриклеточным или секреторного типа. В последнем случае светящееся вещество (вернее, смесь веществ — продуктов синхронной секреции двух разных желез) извергается из организма в виде покрывающей его слизи или расплывается вокруг него в воде, как большое «световое облако».

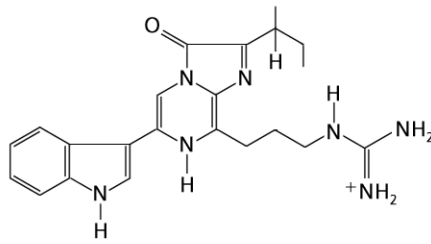
Субстраты и ферменты

В 1885 г. французский ученый и врач Р.Дюбуа доказал, что светящееся вещество биолюминесцентного организма состоит из двух компонентов и только один из них устойчив к нагреванию до 60–100°C. Позже выяснилось, что термостойкое низкомолекулярное вещество, названное люциферин, представляет собой субстрат биолюминесцентной реакции, которую катализирует разрушающийся от нагревания фермент люцифераза. Названия эти чисто условные, у разных организмов такие субстраты и ферменты совершенно несхожи. В дальнейшем оказалось, что у некоторых организмов за свечение ответственны фотопротейны — стойкие комплексы люциферина и особого белка, который обычно «по совместительству» выполняет функции фермента люциферазы. У грибов люциферазы вообще нет, люциферин светится без нее, реагируя с одной из активных форм кислорода — супероксидом.

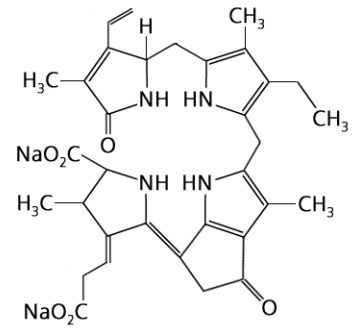
Удивительно, что далеко не все светящиеся животные сами синтезируют свои люциферины. Особого внимания заслуживает в этой связи целентеразин



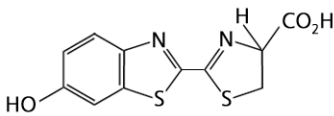
целентеразин



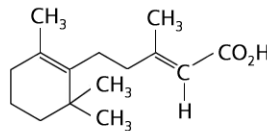
варгулин



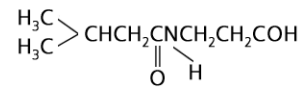
люциферин динофлагеллат



люциферин светляков

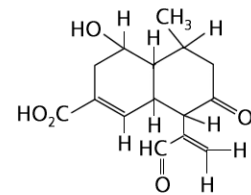


люциферин улитки



люциферин дождевых червей

Люциферины разных организмов. Под таким общим названием фигурирует любой субстрат биолюминесцентной реакции, независимо от его химической природы, правда, в некоторых случаях он имеет собственное имя. У радиолярий, кишечнополостных, гребневиков, веслоногих раков и многих других морских животных субстратом служит целентеразин; у некоторых ракушковых раков и питающихся ими рыб — варгулин; у динофлагеллат и эвфаузиевых раков — линейный тетрапирол, продукт разложения хлорофилла; у жуков светляков — люциферин (от него и пошло общее название субстратов свечения); у новозеландской пресноводной улитки рода *Latia* — соединение, по структуре близкое витамину А, у дождевых червей — N-изовалерил-3-аминопропиналь, у агариковых грибов — производное пенальдегида, которое светится при окислении молекулярным кислородом без фермента люциферазы (Mager H.I.X., Tu S.Ch. // Photochem. Photobiol. 1995. V.62. P.607–622).



люциферин агариковых грибов

(от Coelenterata — кишечнополостные) — производное имидазолпиразина. Он выполняет функцию люциферина не только у кишечнополостных, но также у радиолярий, гребневиков, щетинкочелюстных червей, некоторых рыб и кальмаров, креветок и, наконец, веслоногих и ракушковых планктонных рачков. Возможно, многие из перечисленных животных не способны сами синтезировать целентеразин, а получают его, питаясь этими рачками. Такое предположение высказал в 2001 г. американский ученый С.Хэддок с соавторами [4]. Он обнаружил, что медуза экворея утрачивает способность к биолюминесценции, если в ее раци-

он не входят светящиеся веслоногие рачки.

Уже ранее было известно, что так же обстоит дело с рыбами *Porychthis* и эвфаузиевыми раками *Meganctiphanes*. Первые получают люциферин от ракушковых рачков рода *Vargula* (у них это варгулин — гетероциклическое соединение, несколько отличающееся от целентеразина), вторые — от динофлагеллат, у которых роль люциферина выполняет линейный тетрапирол, продукт разложения хлорофилла.

По мнению Л.Тиси и Дж.Мюррея, высказанному ими совсем недавно на Международном симпозиуме по био- и хемилюминесценции, светляки тоже люци-

ферин не синтезируют, а заимствуют у бактерий [5].

Между тем совсем недавно в Каспийском море, где никогда не было никаких светящихся организмов, в том числе и планктонных рачков, вдруг появился новосел — гребневик *Mnemiopsis leidyi*, уроженец Атлантики. Так вот, оказалось, что мнемипсис и в Каспии продолжает светиться «назло Хэддоку» и, стало быть, сам синтезирует целентеразин, а не заимствует его у рачков. Или, может быть, небιοлюминесцентные каспийские рачки, которыми он питается, целентеразин все-таки синтезируют, но используют по какому-то иному назначению? Например, в качестве антиокси-

данта. Вполне очевидно, что не могут питаться рачками и одноклеточные морские организмы радиолярии. Тем не менее и у них есть целентеразин. Как объяснить такие факты в свете данных Хэддока? Поступлением этого вещества с неблюминесцентной пищей? Независимой эволюцией? «Кражей» генов, ответственных за синтез целентеразина? Пока эти вопросы остаются без ответа.

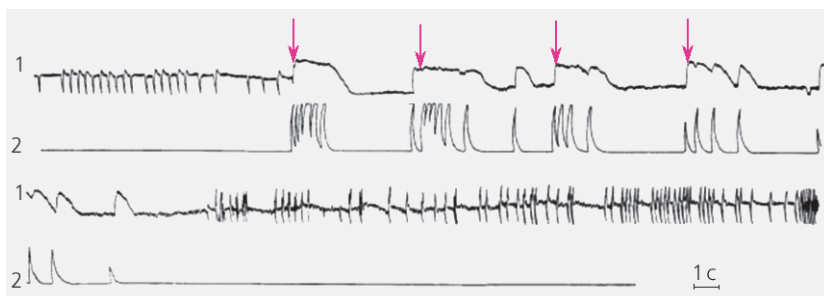
Приспособительный смысл свечения

Биолюминесцентный свет «холодный». Он не порождается высокой температурой источника, в отличие, например, от электрического света обычной лампы накаливания. Тем не менее вряд ли какой-нибудь организм может позволить себе роскошь светиться впустую. Энергетически это слишком дорогое удо-

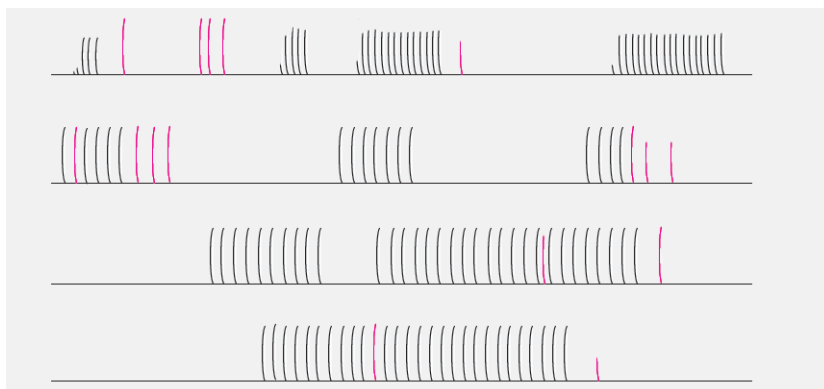
вольствие. Немногие из них (колониции бактерий, высшие грибы, многоножки, некоторые насекомые и др.) испускают свет непрерывно (статически), чем в темноте привлекают зрячих животных. Такой свет, как полагают, способствует попаданию светящихся паразитических бактерий в организм нового хозяина и распространению грибными комариками спор светящихся грибов. Мелких насекомых привлекает статическое свечение насекомоядных личинок новозеландских комаров *Arachnocampa* — они собственным телом подсвечивают свою ловчую сеть.

Между тем громадное большинство биолюминесцентных существ, включая медузу экворею, генерирует более или менее короткие (0.1–1 с) световые вспышки в ответ на внешние механические и другие раздражения. Чаще всего такой свет дезориентирует зрячих хищников или отпугивает быстро движущихся крупных животных, способных повредить желеобразный светящийся организм (медузу, древовидную колонию полипов, гребневика) при случайном столкновении с ним. Поэтому защитная импульсная биолюминесценция обычно возникает синхронно с двигательной реакцией испуга. У гребневиков *Bolinopsis*, колониальных оболочников *Rugosoma*, эвфаузиевых раков *Meganucliphanes* такая реакция подражательно передается от механически потревоженной особи другим, находящимся поблизости.

В прочих случаях статическое или импульсное свечение организмы используют для внутривидовой коммуникации, в том числе как сигнал, привлекающий особей другого пола. Самки американского светляка *Photuris versicolor* вначале подманивают специфичной «световой морзянкой» самцов своего вида и спариваются с ними, а затем начинают генерировать «морзянку» для самцов чужого вида, чтобы закусить ими [6].



Механограмма (1) биения ресничек гребневика *Bolinopsis infundibulum* и запись биолюминесценции (2) в среде с повышенным в пять раз содержанием кальция. Плавные смещения кривой механограммы вверх отвечают мышечным сокращениям, пикообразные смещения вниз — биению ресничек. При электрическом раздражении животного (моменты воздействия отмечены стрелками) биение его ресничек прекращается, начинаются мышечные сокращения, одновременно с которыми возникает внутриклеточная люминесценция (Лабас Ю.А. // Цитология. 1977. Т.19. №5. С.514–521).



«Подражательное свечение» (показано цветом) гребневика в ответ на импульсную фотостимуляцию — вспышки зеленого светодиода, имитирующие природную биолюминесценцию. Видно, что световые вспышки приводят к свечению гребневика примерно с секундной отсрочкой (Лабас Ю.А. О световой сигнализации у гребневиков // Теоретическое и практическое значение кишечнополостных / Д.В.Наумов, С.Д.Степаньянц. Л., 1980. С.41–49). Такая фотостимуляция повышает вероятность биолюминесцентных импульсов животного, видимо, в связи с нейросекреторными сигналами, которые идут от светочувствительных клеток к фотоцитам.

У глубоководных рыб удильщиков имеется над ртом подвижный отросток — «удилище», — на кончике которого находится световая приманка для жертвы. Другие рыбы (*Malacosteus niger*) освещают ближнее пространство красным светом, более никому из глубоководных животных не видимым, и тем спасаются от врагов. Рыбы *Leognathus equulus* используют свечение своего брюха для маскировки на светлом фоне водной поверхности, и т.д.

Всего насчитывается больше 30 биохимических вариантов биолюминесценции, возникших в эволюции независимо и в части случаев, видимо, недавно. О недавнем происхождении отдельных вариантов свидетельствует видовая «чересполосица», т.е. близкое родство светящихся и небиолюминесцентных видов. Так, те и другие присутствуют в одном и том же роду у планктонных веслоногих рачков *Oithona* и *Pseudocalanus* или у колониальных гидроидных полипов *Obelia*. У агариковых грибов *Pannellus stipticus*, встречающихся в Европе и Северной Америке, плодовые тела ярко светятся преимущественно у американских штаммов. У этих грибов, биолюминесцентных фотобактерий и водорослей динофлагеллат часто возникают небиолюминесцентные мутанты. Сама же биохимическая природа свечения нередко существенно различается даже у близких родичей, к примеру у разных видов тех же веслоногих, а также ракушковых рачков.

Как возникли биолюминесцентные системы?

Итак, Дарвин отметил, что появление биолюминесценции трудно объяснить с позиции его теории естественного отбора. Полезный эффект свечения всецело связан со зрительным восприятием и ответным поведением животных. Следовательно,

повышать шансы выживания может только биолюминесценция, хорошо заметная в темноте. Кроме того, световые вспышки должны быть приурочены ко вполне определенным ситуациям, скажем, сопровождать защитную двигательную реакцию, вызванную приближением хищника, и отпугивать или дезориентировать его. Иначе свечение не даст никакой пользы, скорее, нанесет вред.

Плавный, постепенный переход к свечению, хорошо заметному адаптированным к темноте глазам, невозможен — ведь ниже порога видимости не будет влияния на отбор. Следовательно, у небиолюминесцентных видов должны время от времени возникать мутанты, ярко светящиеся, например, при испуге, что повышает шансы спастись от хищника. Только так может начинаться процесс естественного отбора, приводящего к дальнейшему усовершенствованию биолюминесцентной системы.

Заметим, пока таких мутантов «белых ворон» заведомо небиолюминесцентных видов никто не видел, не искал, не пытался получить действием мутагенов. Описаны только упомянутые уже штаммы гриба *P.stipticus*, несветящиеся мутанты фотобактерий и водорослей динофлагеллат.

Кислород и его активные формы. Что же служит непосредственной причиной свечения? Для него, как показано, всегда необходим молекулярный кислород или его активные формы. Атом кислорода, помимо основного, устойчивого триплетного состояния, может находиться в нескольких нестабильных возбужденных. Одно из них — синглетное. Возврат электронов из синглетного состояния в триплетное сопровождается испусканием фотонов, правда, «маленьких», инфракрасных. Фактически же свечение организмов обычно сильнее или зеленое.

Причина, как полагают, в том, что из возбужденного состояния в основное переходят сразу два

или более атомов кислорода, и энергии этих переходов суммируются. Одновременно рвутся O-O-связи в циклической и очень нестойкой диоксетановой перекиси, в которую превратился субстрат люциферин при окислении молекулярным кислородом или его активными формами. Их несколько, но главных три: супероксид (O_2^-), перекись водорода (H_2O_2) и чрезвычайно агрессивный окислитель гидроксил-радикал (OH^\cdot).

Активные формы кислорода (АФК) играют громадную роль в жизни организмов. С одной стороны, эти формы — «полуфабрикат» и «брак» дыхания митохондрий, способные окислить что попало в живом организме: ДНК и РНК, белки, липиды. Для защиты от этой опасности организмы вынуждены постоянно синтезировать или потреблять с пищей разнообразные антиоксиданты (в их числе витамины А, С, Е, β -каротин и др.), а также использовать такие ферменты, как супероксиддисмутаза, преобразующая O_2^- в перекись водорода, и каталаза, ускоряющая образование воды из H_2O_2 .

С другой стороны, в умеренных количествах АФК продуцируются в любом живом аэробном организме благодаря специальным ферментам, ответственным за одноэлектронное восстановление кислорода и функционирующим вне связи с процессом дыхания в митохондриях. АФК в низкой концентрации необходимы во многих жизненно важных процессах. Так, эти формы секретируются в импульсном режиме фагоцитами и некоторыми другими клетками для уничтожения паразитических микроорганизмов; участвуют в регуляции клеточного деления, оплодотворения яйцеклетки, а также в запущенности «запрограммированной смерти» клеток (апоптоза), в управлении тонусом кровеносных сосудов и т.д. Недавно мы обнаружили, что клетки поверхности ряда водных многоклеточных животных, подобно фагоцитам, тоже выделяют АФК, вероятно, для за-

щиты от гнилостной микрофлоры [7]. Природными (абиогенными) источниками АФК служат ионизирующая радиация, фото- и электрохимические реакции в воде. В частности, АФК образуются при фотолитизе воды под действием УФ-излучения.

Мы затронули эти сложные вопросы потому, что работы последних лет доказывают: практически любой люциферин — высокоэффективный антиоксидант. И некоторые люциферазы — пероксидазы. Известно, что ферменты такого типа могут дезактивировать H_2O_2 , окисляя с ее помощью определенные субстраты. Таким образом, вполне возможно, что субстраты и ферменты биолуминесцентных реакций выполняют функции антиоксидантов у ближайших несветящихся родичей биолуминесцентных организмов. Поэтому достаточно одной малой наследственной «поломки» исходной (антиоксидантной) реакции, чтобы в ходе ее вдруг появилось хорошо заметное свечение. Возник новый признак: биолуминесценция. Его закрепил естественный отбор. Как уже говорилось, природой таких предполагаемых нами «излучающих» мутаций пока, к сожалению, никто специально не занимался. Само их обнаружение — дело будущего.

Несколько эволюционных версий. Разные ученые не сходятся в вопросе, какие именно «добиолуминесцентные» функции выполняли молекулы люциферина и люциферазы.

Одно время думали, что люциферазы произошли от ферментов, некогда, на заре жизни, защищавших организмы от молекулярного кислорода, появившегося в атмосфере в больших количествах в связи с фотосинтезом. Позже, однако, выяснилось, что эти ферменты у разных групп организмов несходны между собою. В эволюционном отношении они, видимо, гораздо моложе, чем сравнительно менее разнообразные субстраты люциферина. Да и биолуминес-

ценция обретаема многими организмами, как уже говорилось, не так уж давно и независимо.

В 1998 г. бельгийский коллектив ученых во главе с Ж.Ф.Рийзом предложил гипотезу о «добиолуминесцентной» функции люциферина [8]. По их мнению, морских организмов они защищали от АФК, образующихся в верхних слоях воды под действием УФ-радиации. Достаточно, мол, водному организму поселиться на большей глубине, и антиоксиданты там, в темноте, ему не нужны. Настает момент использовать их для свечения!

Другие авторы полагают, что люциферины могли предохранять организм от собственных АФК — «неизбежного зла» при аэробном дыхании [9, 10]. Как известно, далеко не весь кислород восстанавливается в основной дыхательной цепи митохондрий. Нет-нет да образуются АФК и начинают «бесчинствовать» в клетках. Чем больше потребляется кислорода, тем больше этого «брака». От него-то, считают, и спасали «пробиолуминесцентные» системы.

По третьей версии люциферины в большинстве своем — «вещества-чужаки» (ксенобиотики), попадающие в организм с пищей, а перекисное окисление уменьшает их токсичность. Данные в пользу и против такой гипотезы здесь уже обсуждались [4, 5].

Наконец и наша точка зрения. Один из авторов этой статьи — Ю.А.Лабас — еще в 1990 г. на X конференции, посвященной памяти Л.А.Орбели, обратил внимание на то, что биолуминесцентными бывают главным образом клетки, по тем или иным причинам сами секретирующие АФК в повышенных количествах с помощью специальных ферментов, которые не связаны с митохондриями. Так, у некоторых дождевых червей и колониальных асцидий, если их потревожить, начинают ярко светиться фагоциты, выходящие на поверхность тела вместе с целомической жидкостью и разрушающиеся там (у асцидий — под

прозрачной мантией). Одна из функций фагоцитов, напомним, — импульсная секреция АФК для уничтожения бактерий.

У большинства других многоклеточных животных ярко светятся фотоциты, расположенные на поверхности тела или, как у кишечнорастворимых и гребневиков, — в энтодерме.

Эпителиальные клетки, которые выделяют в воду светящиеся вещества, сами способны при раздражении животного производить АФК в импульсном режиме, видимо, в качестве антимикробного средства. Это только что подтвердили наши эксперименты [7].

«Рекордсмены» в отравлении окружающей среды активными формами кислорода и особым ядом (сакситоксином) — морские планктонные динофлагеллаты, в том числе светящиеся. В этом причина так называемых красных приливов, губительных для всего живого, кроме самих водорослей.

Не исключено, что и фотобактерии, паразиты и симбионты, выбрасывают АФК в окружающую среду. У ряда видов паразитических небииолуминесцентных бактерий такая секреция уже доказана, а у фотобактерий ее пока просто не искали. Паразитические бактерии, выделяя АФК, вероятно, разрушают таким способом ткани «хозяина», а возможно, еще и уничтожают конкурентов.

Таким образом, светятся (постоянно или в импульсном режиме) в основном клетки, которые сами секретируют АФК для той или иной цели, главным образом для защиты. Поэтому мы полагаем: биолуминесценция — это результат наследственных изменений механизмов, защищающих от самоуничтожения подобного рода клетки.

Характерно, что многие выделяемые в импульсном режиме люциферины или их комплексы с белками, т.е. фотопротеины, светятся даже без фермента люциферазы, реагируя не с молекулярным кислородом, а с АФК.

Подобным образом излучают свет в эксперименте люциферин ракушковых рачков рода *Vargula* и фотопротейн двустворчатых моллюсков рода *Pholas* (оба эти соединения — варгулин и фолазин — используют как сверхчувствительные индикаторы АФК).

Выделение светящихся соединений во внешнюю среду водными организмами напоминает защитный прием наземного жука бомбардира (род *Brachinus*). Потрясенный, он довольно метко стреляет во врагов жгучей смесью трех веществ: восстановленного субстрата (гидрохинона), фермента (пероксидазы) и перекиси водорода. Мы не исключаем, что в состав излучающих веществ, выбрасываемых водными животными, первоначально тоже входила (или даже входит, это не проверено) в качестве третьего компонента перекись водорода или другие АФК и что светящаяся смесь происходит от жгучей защитной.

Есть много примеров, подтверждающих связь биOLUMИнесценции с активными формами кислорода. Приведем некоторые.

У многощетинковых червей из семейства Polynoidae внутриклеточные световые вспышки вызываются образованием супероксида в своеобразных клеточных органоидах — люмисомах. Продуцируется он специальным ферментом, активируемым повышенной цитоплазматической концентрацией ионов

кальция. А светится от супероксида другой, находящийся в тех же клетках белок, полиноидин.

У динофлагеллат и морских перьев рода *Renilla* люциферин не может реагировать с люциферазой и кислородом, пока остается связанным с особым белком. Когда клетка возбуждена, в ней повышается концентрация Ca^{2+} , что влечет за собой высвобождение люциферина. Только после этого он может реагировать с кислородом и люциферазой.

Наконец, у радиолярий, гидроидных полипов и гребневиков белок, который связан с люциферинном, обрел функцию люциферазы, вероятно, вторично в эволюции. Достаточно лишь повыситься концентрации Ca^{2+} в клетке, и перекись люциферина, будучи в комплексе с таким белком, начинает светиться при распаде. С эволюционной точки зрения немаловажно, что, кроме ионов кальция, свечение подобных фотопротейнов могут вызывать активные формы кислорода.

Итак, у разных организмов импульсное свечение обеспечивается отнюдь не одинаково. У асцидий, многощетинковых и дождевых червей оно связано с импульсной генерацией самих АФК. Но у динофлагеллат и морских перьев — с порционным выбросом люциферина-антиоксиданта, защищающего организм от повреждений, вызываемых этими агрессивными окислителями. У светляков вспышки создаются, как полагают, слож-

ным механизмом импульсной подачи кислорода к месту внутриклеточной локализации люциферина и люциферазы.

Мы здесь рассматривать этот механизм не будем. Важнее попытаться ответить на вопрос: как у несветящихся родителей может вдруг появиться более или менее ярко светящийся потомок? Данных пока нет. Остается предполагать. В одних случаях, например, чуть меняется реакция синтеза того или иного антиоксиданта и в результате — его структура. Обновленный антиоксидант начинает ярко светиться, реагируя с АФК. В других случаях антиоксидант (свой или полученный с пищей) в результате мутации попадает в клетки, где присутствует фермент — будущая люцифераза, и тогда яркое свечение в реакции с молекулярным кислородом или с перекисью водорода обеспечено. Если же мутация меняет структуру фермента, с участием которого окисляется восстановленный субстрат, такой процесс тоже может сопровождаться свечением.

Это наши варианты возникновения биOLUMИнесценции, эволюционного события, которое великий Дарвин затруднялся объяснить, исходя из своей теории. Конечно, не исключены и другие.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проект 02-04-49717.

Литература

1. Лабас Ю.А., Глухова Е.Н. // Журн. общ. биологии. 1999. Т.60. №5. С.510—525.
2. Лабас Ю.А., Черданцев В.Г., Глухова Е.Н. // Журн. общ. биологии. 2000. Т.61. №6. С.616—637.
3. Labas Y.A., Matz M.V., Zakhartchenko V.A. On the origin of bioluminescent systems // Proc. of the 11 Intern. Sympos. on Bioluminescence and Chemoluminescence / J.F.Case, P.J.Herring, B.F.Robinson et al. World Scientific, Singapore, 2000. P.91—94.
4. Haddock S.H.D., Rivers T.J., Robison B.H. // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2001. V.98. №20. C.11148—11151.
5. Tisi L.C., Murray J.A.H. On the Evolution and Synthesis of Beetle Luciferin: Clues from the Similarity of Bacterial Siderophores to Beetle Luciferin // Abstr. received 12th Intern. Symp. on Bioluminescence and Chemiluminescence. 2002.
6. Soucek B. // J. Theoretical Biology. 1987. V.125. P.93—103.
7. Гордеева А.В., Лабас Ю.А. // Биофизика. 2002. Т.47. №1. С.90—93.
8. Rees J.F., De Wergifosse B., Noiset O. et al. // J. Exp. Biol. 1998. V.201. №8. P.1211—1221.
9. Watanabe H., Nagoshi T., Inaba H. // Biochim. Biophys. Acta. 1993. V.1141. №2—3. P.297—302.
10. Barros M.P., Bechara E.J. // Free Radical in Biol. Med. 1998. V.24. P.767—777.

Астрономические задачи начала XXI века, или 23 проблемы Сэндиджа

В.П.Решетников

При смене столетий, а уж тем более тысячелетий, всегда хочется подвести итоги и составить планы на будущее. Это справедливо как для отдельных людей, так и для различных их сообществ (например, профессиональных).

Прогнозировать развитие науки — дело очень неблагоприятное. Как правило, прогнозы не сбываются. Хрестоматийным примером могут служить заявления Огюста Конта, что «никогда, никакими способами мы не сможем изучить» химический состав небесных тел, что «любое знание истинных средних температур звезд неминуемо должно быть навсегда скрыто от нас». Но через несколько лет возник спектральный анализ, позволивший определять эти характеристики. Общеизвестна история с молодым Максом Планком, старший коллега которого (Филипп Жолли) не рекомендовал ему заниматься теоретической физикой ввиду полной бесперспективности такого занятия, поскольку «физика уже в основном закончена»...

Однако есть примеры и успешных прогнозов развития науки. Самый известный из них, пожалуй, доклад Давида Гильберта, прочитанный летом 1900 г. на Международном кон-



Владимир Петрович Решетников, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Астрономического института при Санкт-Петербургском государственном университете. Область научных интересов — происхождение и эволюция галактик, их взаимодействие.

грессе математиков в Париже. В этом докладе Гильберт сформулировал 23 проблемы*, решение которых, по его мнению, должно было оказать влияние на развитие математики в XX в. Попытка Гильберта оказалась необычайно плодотворной, что, несомненно, было обусловлено замечательной личностью автора (см. подробнее в [1]).

Физики и астрономы: взгляд с разных сторон

Другой очень интересной попыткой выделить ключевые вопросы развития науки (в данном

* В устной версии доклада Гильберт для краткости перечислил только 10 проблем из полного списка.

случае физики и астрофизики) стал список «особенно важных и интересных» проблем, составленный и дополняемый на протяжении уже более 30 лет Виталием Лазаревичем Гинзбургом (последняя версия опубликована в [2]). По мнению Гинзбурга, ключевые задачи (естественно, меняющиеся со временем) должны формировать некий «физический минимум», с которым должен быть знаком каждый исследователь. Его список включает и ряд астрофизических задач, однако их немного (10) и они сформулированы в очень общей форме. Проблемы, выделенные Гинзбургом, таковы:

1. Общая теория относительности — ее экспериментальная проверка.

2. Гравитационные волны, их детектирование.

3. Космологическая проблема. Инфляция. Λ -член и «квинт-эссенция» (темная энергия). Связь между космологией и физикой высоких энергий.

4. Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые звезды.

5. Черные дыры. Космические струны (?).

6. Квазары и ядра галактик. Образование галактик.

7. Темная материя (скрытая масса) и ее детектирование.

8. Космические лучи со сверхвысокой энергией, их происхождение.

9. Гамма-всплески. Гиперновые.

10. Нейтрино в физике и астрономии. Нейтринные осцилляции.

Приведенные направления исследований, несомненно, фундаментальны и очень актуальны (см. их подробное обсуждение в [2]). Однако они отражают точку зрения физика на астрономию. А какие задачи считают наиболее актуальными *сами астрономы*?

Кто такие астрономы и чем они отличаются от физиков, определить очень сложно, несомненно только, что это отличие существует*. Возможно, оно состоит в относительно большем внимании астрономов к самим объектам исследования (звездам, галактикам, газовым туманам и т.п.), а не только к физическим процессам в них. Кроме того, астрономы гораздо луч-

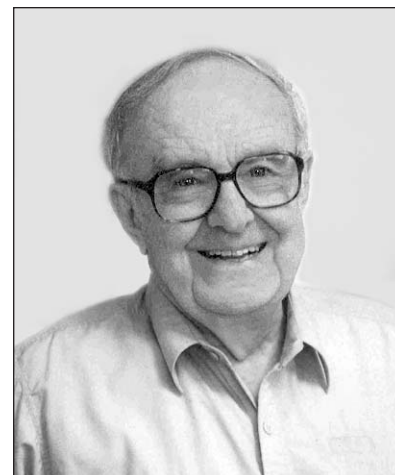
* В этой связи поучительно прочитать статью Алексея Филиппенко [3], в которой он описывает историю открытия космологического ускорения по наблюдениям далеких сверхновых. Это открытие было совершено двумя группами исследователей, причем одна из групп состояла преимущественно из физиков, а вторая — из астрономов. Сам Филиппенко, являясь профессиональным астрономом, специалистом по сверхновым, был приглашен работать в первый коллектив. Однако через некоторое время он ощутил некий дискомфорт, связанный с непривычным для него стилем работы и слишком жесткой иерархической структурой группы. Когда позднее сформировалась конкурирующая команда астрономов, он перешел в нее. Открытие было сделано двумя группами практически одновременно...

ше физиков представляют реальную точность тех чисел и оценок, которые извлекаются из наблюдений. Действуя по прецеденту, можно перефразировать известное высказывание А.А.Маркова о математике и сказать, что астрономия — это то, чем занимались Вильям Гершель, Эдвин Хаббл, Артур Эддингтон и... Алан Сэндидж.

Вопросы Сэндиджа

В 1997 г. на Канарских о-вах состоялась необычная научная конференция. На ней было только 11 докладчиков, но каких! Все они являлись (и являются) по определению организаторов конференции «величайшими маэстро» в различных областях астрономии. Примечательно, что среди них было два российских астронома — И.Д.Новиков и Р.А.Сюняев. Каждый маэстро прочел большую обзорную лекцию, посвященную наиболее интересным нерешенным проблемам в своей области астрономии. Тематика 11 докладов охватила почти все разделы современной астрономии, и поэтому опубликованные труды этой конференции были озаглавлены «Вселенная в целом» [4]. Устроители конференции, по-видимому, надеялись, что докладчики («коллективный Гильберт») хотя бы частично смогут сделать для развития астрономии то, что сделал Гильберт для математики почти 100 лет назад.

Конференция была открыта докладом Сэндиджа «Астрономические задачи на следующие 30 лет». Докладчик в подробном представлении не нуждается. Он был аспирантом Вальтера Бааде, сотрудником Эдвина Хаббла, работал с Мартином Шварцшильдом. Имя Сэндиджа прочно связано с рядом крупнейших достижений наблюдательной космологии, с возникновением современных представлений о формировании и эволюции звезд и галак-



Алан Сэндидж.

тик, с современной шкалой расстояний во Вселенной. О чем же шла речь в его докладе?

Осознанно имитируя Гильберта, Сэндидж сформулировал 23 проблемы, решение которых, возможно, будет найдено в течение следующих 30 лет. Тем самым Сэндидж ушел от попытки предсказать новые проблемы и явления, а поступил более осторожно и выделил то, что, по его мнению, скоро будет прояснено. Эти проблемы были сгруппированы им в три раздела, касающихся общих свойств галактик, нашей Галактики — Млечного Пути — и наблюдательной космологии. Рассмотрим эти проблемы подробнее. (Следует отметить, что за истекшие после доклада Сэндиджа несколько лет возникли новые задачи, связанные, в частности, с ошеломляющими успехами космологии, которые, естественно, не могли быть включены в его перечень.)

Хаббловская классификация галактик

Первая группа задач посвящена знаменитой морфологической классификации галактик, предложенной Хабблом

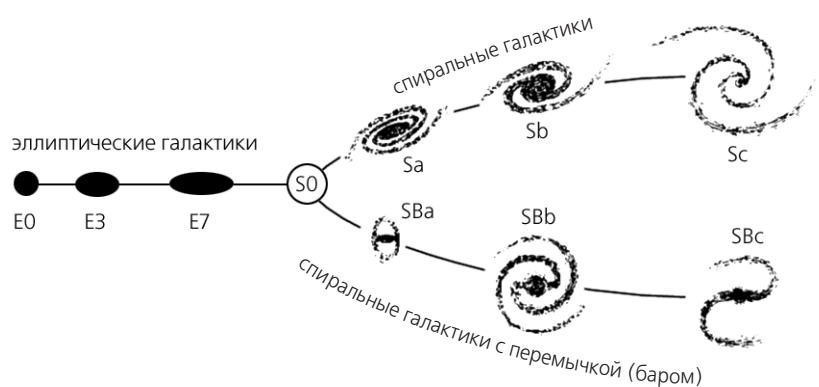


Рис. 1. Хаббловская последовательность галактик.

в 20-х годах прошлого века (рис.1). Эта классификация (ее прообраз, кстати, можно обнаружить еще у Гершеля, за 150 лет до Хаббла) делит галактики на эллиптические, спиральные и неправильные. Эллиптические галактики в свою очередь разбиваются на подтипы в зависимости от наблюдаемой величины сжатия (сплюснутости), а спиральные — по особенностям спиральных ветвей (структурности, степени закрученности) и по соотношению светимостей звездного диска и центрального звездного сгущения (балджа).

Классификация Хаббла возникла как чисто морфологическая (связанная с формой) и была основана на том, как выглядят галактики в оптическом диапазоне. Позднее, однако, выяснилось, что «внешний вид» галактик связан с их физическими характеристиками — массой, светимостью, количеством атомарного и молекулярного газа, типом звездного населения, количеством пыли, темпом рождения звезд и т.д. Эта связь, конечно, носит статистический характер, но прослеживается вполне отчетливо.

Сэндидж сформулировал следующие вопросы:

1. *Что приводит к возникновению хаббловской последовательности: эволюция галактик или начальные условия при их формировании?*

2. *Какие параметры меняются, а какие остаются неиз-*

менными вдоль этой последовательности?

3. *В чем причина разброса характеристик галактик, имеющих один хаббловский тип?*

4. *От чего зависит спиральная структура (роль вращения галактик)?*

5. *Является ли начальный темп звездообразования основным механизмом, определяющим тип галактики?*

6. *Какова космогония соотношения морфология — плотность?*

7. *В чем роль (если она есть) слияний галактик?*

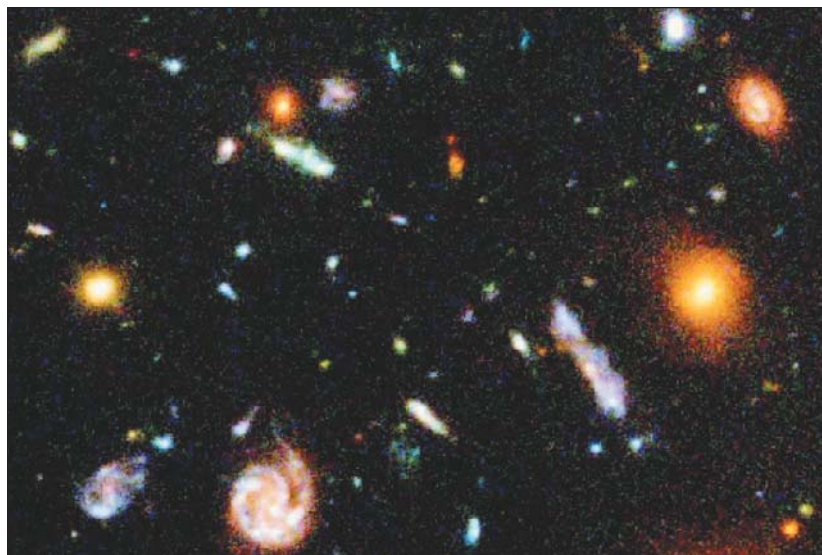
8. *Каково происхождение и возраст пыли (в частности, роль звезд на эволюционной стадии асимптотической ветви гигантов)?*

Мы не будем детально обсуждать все эти задачи (частично это сделал сам Сэндидж в своем докладе). Если их кратко суммировать, то они сводятся к следующему фундаментальному вопросу: как сформировались основные крупномасштабные характеристики окружающих нас галактик? Как ни странно, этот основной для внегалактической астрономии вопрос еще не вполне ясен. Раньше считалось, что галактики формируются на ранних стадиях эволюции Вселенной и их основные наблюдаемые в настоящее время свойства однозначно определяются характеристиками протообъекта (например, полной массой и угловым моментом, описывающим вращение).

Позднее эта картина начала запутываться и сложился альтернативный сценарий: свойства галактик формируются в процессе их эволюции, в ходе которой они активно взаимодействуют со своим окружением (межгалактической средой, другими галактиками). В последние годы появились факты, очень весомо свидетельствующие в пользу такого подхода. Например, оказалось, что доля взаимодействующих галактик очень быстро растет с увеличением красного смещения, т.е. при рассмотрении все более ранних эпох в эволюции Вселенной [5]. Так, когда Вселенная была вдвое моложе, от трети до половины всех галактик, по-видимому, находились в состоянии сильного внешнего гравитационного возмущения или в процессе слияния с себе подобными. Поэтому несомненно, что взаимодействия и слияния (седьмая проблема Сэндиджа) играли важную роль при формировании галактик.

Существует даже точка зрения, что хаббловская последовательность — это последовательность уменьшения (слева направо на рис.1) числа актов слияний и «встрясок» в истории галактик. К примеру, эллиптические галактики могут формироваться в процессе полного слияния спиральных галактик со сравнимыми массами. Хорошо заметные балджи — центральные, почти сферические звездные сгущения — спиральных га-

Рис.2. Фрагмент изображения глубокого поля Космического телескопа им.Хаббла.



лактик ранних типов могли возникнуть при аккреции на чисто дисковую галактику маломассивных спутников или же за счет внутренних процессов, инициированных внешним возмущением. Спирали поздних типов (Sc, SBc на рис.1), возможно, имеют наиболее спокойную, невозмущенную историю.

Один из важнейших результатов последних лет — это заключение, что хаббловская последовательность галактик сформировалась относительно недавно. Оказалось, что 5—7 млрд лет назад у спиральных галактик очень редко встречались такие важные для морфологической классификации Хаббла структурные элементы, как бары (см. нижнюю ветвь галактик на рис.1: бар — это вытянутое образование в центральной области галактики*, от концов которого обычно отходят спиральные ветви) и хорошо выраженные крупномасштабные спиральные ветви [6] (см. изображения далеких галактик на рис.2). Хаббловская последовательность не старше Солнечной системы?!

Окончательно вопрос о происхождении структуры окружающих нас галактик пока не решен. По всей видимости, и на-

* Бар и балдж различаются по распределению плотности, составу звезд, доминирующему типу их движений и т.д.

чальные условия, и последующая эволюция влияют на характеристики галактик, однако соотношение между этими факторами остается неясным. Вероятно, оно различно для галактик разных морфологических типов, масс и пространственного окружения.

Звездная эволюция и Галактика

Задачи, посвященные структуре и происхождению Млечного Пути, суммированы во второй группе проблем, исследования по которым должны снабдить нас следующей информацией:

9. *Распределения возраста, кинематики и химического состава для различных подсистем Галактики.*

10. *Космогония этих распределений.*

11. *Последовательность событий при формировании Млечного Пути (как выглядела Галактика на ранних стадиях формирования).*

12. *Соотношение возраст—металличность (относительное содержание тяжелых элементов) для разных областей Галактики.*

13. *Распределение объектов от звезд до камней по их массам.*

14. *Звездные подсчеты для картографирования гало и толстого диска.*

Данные проблемы чуть более конкретны и узкопрофессиональны, чем задачи предыдущей и последующих групп. Это и понятно — мы находимся внутри нашей звездной системы, и она доступна нашему изучению в гораздо больших деталях, по крайней мере ближайшие окрестности Солнца. С другой стороны, структура Галактики в целом, характеристики ее диска, балджа, спиральных ветвей известны хуже (даже количество ветвей до сих пор вызывает споры), чем у многих других галактик. Исследуя один листочек и небольшую часть ветки, мы пытаемся составить представление о всем дереве!

В последние несколько лет в исследовании Млечного Пути достигнут очень большой прогресс. Это связано в первую очередь с работой космических аппаратов. Например, обсерватория «HIPPARCOS» позволила оценить расстояния до сотен тысяч звезд в пределах нескольких сотен парсек от Солнца. Структура ближайших окрестностей Галактики стала гораздо яснее. Наблюдения в инфракрасном диапазоне на спутнике «СОВЕ» впервые дали представление о том, как выглядит Млеч-



Рис.3. Изображение центральной области Галактики по данным со спутника «СОБЕ».

ный Путь в целом (рис.3). В частности, оказалось, что центральная область Галактики представляет собой вытянутую структуру (возможно, бар), большая ось которого вытянута почти в направлении нашего Солнца.

Однако один из самых громких успехов был достигнут в ходе наземных наблюдений. При исследовании звезд внешних областей балджа группа английских астрономов в 1994 г. открыла карликовую галактику, находящуюся практически в пределах Млечного Пути, на расстоянии 16 кпк от его центра [7].

Эта галактика сильно деформирована приливным возмущением Млечного Пути и вытянута в колоссальную дугу, почти перпендикулярную его плоскости. Вспомним о существовании двух других давно известных спутников, Большого и Малого Магеллановых Облаков, о гигантском газовом хвосте, соединяющем их с нашей звездной

системой (Магелланов Поток), и мы получим четкую картину продолжающегося в настоящее время «строительства» Млечного Пути.

Вселенная: практическая космология

Некоторые из задач последней группы обсудим более подробно.

15. Реальность расширения Вселенной.

Действительно ли Вселенная расширяется? Вопрос звучит отчасти неожиданно. Уже не одно поколение исследователей выросло с представлением о том, что мы живем в расширяющейся Вселенной. Расширение Вселенной служит наиболее простым объяснением так называемого красного смещения спектров внегалактических объектов. Нестационарность Вселенной естественным образом возникает и в теоретических моделях.

Однако, как это ни странно, до недавнего времени отсутствовали прямые, однозначно интерпретируемые доказательства реальности космологического расширения. Сэндидж предложил рассмотреть три таких наблюдательных теста.

Первый тест (тест Толмана) состоит в измерении поверхностных яркостей далеких объектов. Как было показано еще в 30-х годах прошлого века, в расширяющемся пространстве поверхностная яркость объекта уменьшается с ростом красного смещения z как $(1+z)^4$. (Очень важно, что в альтернативных моделях, объясняющих наблюдаемое красное смещение, к примеру, «усталостью» фотонов и т.п., предсказывается другая зависимость яркости от z .) Эту проверку осуществил сам Сэндидж. В недавнем цикле работ он рассмотрел эллиптические галактики в скоплениях и нашел, что их наблюдаемая поверхностная яркость уменьшается с z в соответствии с тем, как это и должно

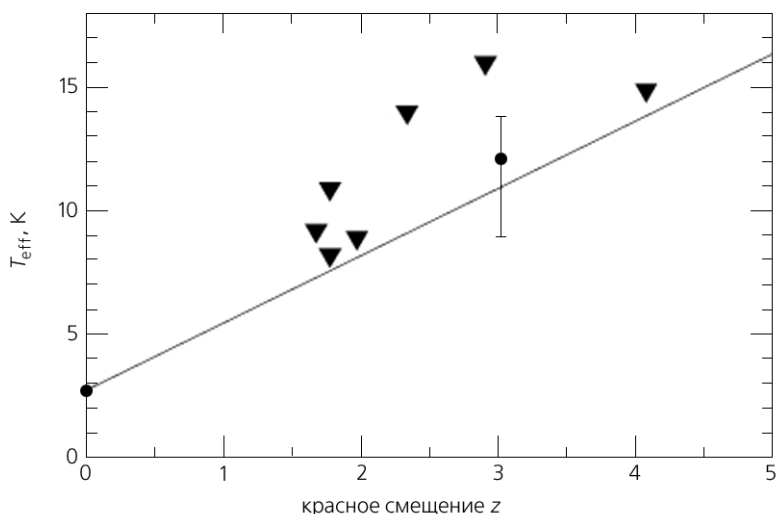


Рис.4. Температура реликтового излучения при разных красных смещениях [9]. Треугольниками показаны верхние пределы по данным разных авторов. Черным кружком при $z=3.025$ изображена оценка температуры согласно [9]. Непрерывная прямая — ожидаемая зависимость для модели расширяющейся Вселенной.

Рис.5. Репродукция снимка скопления галактик Abell 2218, полученного на Космическом телескопе им.Хаббла. Слабые дугообразные детали — изображения галактик, расположенных за этим скоплением.



быть для реально расширяющейся Вселенной.

Второй тест состоит в изменении эффекта замедления времени у далеких объектов. Суть очень проста: чем дальше от нас находится объект в расширяющемся пространстве, тем с большей скоростью он от нас удаляется. Следовательно, длительность сходных процессов вблизи нас и в далеких областях Вселенной должна быть разной. Нам должно казаться, что при красном смещении z все длится в $1+z$ раз дольше. Что же взять в качестве такого «стандартного» процесса, длительность которого можно изучать на разных расстояниях от нас? Как оказалось, для этой цели лучше всего подходят кривые блеска сверхновых первого типа (SN Ia), которые отличаются замечательным сходством как по форме, так и по длительности. В последние годы (уже после обсуждаемого здесь доклада Сэндиджа) были накоплены данные для нескольких десятков далеких сверхновых звезд. Исследование их кривых блеска с хорошей точностью подтвердило существование ожидаемого вследствие расширения Вселенной эффекта замедления времени (например, [8]).

Третий тест предполагает измерение температуры реликтового излучения в различные эпохи эволюции Вселенной, т.е. при разных z . Стандартная модель расширяющейся Вселенной

предсказывает, что температура фонового излучения должна расти с изменением z пропорционально $1+z$ (прямая линия на рис.4). Например, при $z=3$ его температура должна была быть не 2.7 К, как сейчас (точка при $z=0$ на рисунке), а около 11 К. Но как оценить температуру реликтового излучения в прошлые эпохи? На помощь приходит очень детальное исследование спектров далеких галактик. Если фоновое излучение с более высокой, чем сейчас, температурой действительно существует, в спектрах удаленных объектов могут появиться линии, возбуждение которых было бы невозможно при отсутствии дополнительного источника энергии. Такой подход позволил в последние годы на основе анализа абсорбционных спектров квазаров получить первые реальные оценки температуры реликтового излучения (см. рис.4; значению $z=2$ соответствует возраст Вселенной, примерно равный четверти нынешнего, а $z=3$ — около $1/7$ — $1/8$ его части). Все эти оценки находятся в согласии с моделью горячей расширяющейся Вселенной.

Таким образом, все три предложенных Сэндиджем теста уже реализованы. В пределах ошибок измерений все они дают независимые и однозначные указания на реальность космологического расширения Вселенной. Примечательно, что тесты были

выполнены с использованием классических астрономических наблюдательных методик (измерение поверхностной яркости, построение кривых блеска, анализ спектров).

16. Эволюция со временем (первичные галактики).

Поиск первичных, т.е. молодых, находящихся в процессе формирования галактик в течение долгого времени был «походом за святым Граалем» для внегалактических астрономов. Какие объекты только не отождествляли с протогалактиками! Квазары, радиогалактики, ультраяркие в инфракрасном диапазоне объекты, галактики с низкой поверхностной яркостью... И лишь в последние несколько лет подобные объекты были, наконец, обнаружены. Помогло общее развитие наблюдательной техники, появление класса 8—10-метровых наземных телескопов, а также использование при поиске природных гравитационных линз — далеких скоплений галактик.

Гравитационное поле скопления может усилить излучение расположенной за ним галактики и построить ее искаженное изображение. Образованные данным способом изображения чаще всего выделяются в виде слабых дуг, окружающих центр скопления (см. пример на рис.5). Спектральное исследование одной из таких дуг и позволило обнаружить самую далекую известную в настоящее время (лето

2002 г.) галактику с красным смещением $z=6.56$ [10].

Объектов с красными смещениями, превышающими 5, известно уже больше десятка. Их возраст, отсчитываемый от начала космологического расширения, составляет менее 10% от текущего возраста Вселенной, и их в полной мере можно считать молодыми, формирующимися галактиками. Как оказалось, столь молодые галактики являются очень компактными (характерный размер ~ 1 кпк), яркими (по всей видимости, за счет очень интенсивного темпа рождения новых звезд) и асимметричными образованиями. Изучение этих объектов только начинается, и то, во что они превратятся в ходе дальнейшей эволюции, еще не вполне ясно. Они могут представлять собой, например, формирующиеся центральные области (балджи) галактик, вокруг которых позднее возникнет более протяженная дисковая составляющая. Возможно также, что при $z > 5$ мы обнаружили не непосредственных «предков» современных галактик, а протогалактические строительные блоки, из которых в процессе иерархических слияний в дальнейшем будут построены привлекательные галактики.

17. Шкала расстояний.

Шкала расстояний во Вселенной была одним из ключевых направлений исследований астрономии XX в. и отчасти остается таким и сейчас. Важнейшей задачей шкалы расстояний является определение значения постоянной Хаббла (H_0). Значение H_0 характеризует текущий темп расширения Вселенной и позволяет находить расстояния до галактик по наблюдаемой скорости их удаления от нас. В течение нескольких десятилетий точность оценки H_0 была не лучше 50%. Это создавало большие неопределенности как при решении космологических задач, так и при исследовании физических свойств внегалактических объектов.

В последние годы благодаря работе внеатмосферных обсерваторий величину H_0 удалось, наконец, конкретизировать. Космические наблюдения позволили выделить во многих относительно близких галактиках особый класс ярких звезд — цефеиды. Цефеиды («маяки» Вселенной) демонстрируют замечательную зависимость между периодом колебаний блеска и светимостью. Исследовав кривые блеска цефеид, можно с большой точностью ($\approx 10\%$) найти расстояния до них и, следовательно, до галактик, в которых они находятся. По задаваемой ими шкале расстояний можно прокалибровать другие индикаторы расстояний (сейчас используется более десятка вторичных индикаторов) и распространить эту шкалу на большие расстояния. В результате многолетней работы многих групп исследователей получено, что значение H_0 близко к $70 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$ с ошибкой около $10 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$.

18. Параметр замедления.

Доклад о проблемах астрономии Сэндидж сделал в 1997 г., т.е. за год до открытия ускорения космологического расширения Вселенной. До этого наблюдательная космология была, как иногда писали, «наукой о двух числах». Одним из этих чисел была уже упоминавшаяся постоянная Хаббла, вторым — параметр замедления, характеризующий плотность вещества во Вселенной. Эти два числа, как считалось, полностью определяют геометрию и эволюцию Вселенной.

В 1998 и 1999 гг. две группы исследователей объявили, что данные о светимостях далеких сверхновых первого типа (SN Ia) свидетельствуют о существовании космологического ускорения или, другими словами, о ненулевом значении введенного Эйнштейном Λ -члена (история открытия очень интересно описана в [3]). Позднее это заключение было подтверждено независимым образом по дан-

ым об анизотропии реликтового излучения и о крупномасштабном распределении галактик. Как оказалось, мы живем в плоской евклидовой Вселенной, основной вклад в плотность которой ($\sim 2/3$) вносит космический вакуум (см. подробнее в [11]). Вклад плотности обычной материи в сочетании с «традиционной» скрытой массой составляет лишь около $1/3$. Мало нам таинственной скрытой массы, так открыто еще нечто более странное — вакуум, темная энергия, глобальная «антигравитация»!

Тем самым восемнадцатая задача Сэндиджа в ее простейшей формулировке, по-видимому, уже решена, и это решение привело к смене представлений о том, как устроена Вселенная. Как и в случае задачи 15, успех был достигнут традиционными астрономическими методами (фотометрией и спектроскопией SN Ia).

19. Избыток галактик.

Эта проблема известна с конца 80 — начала 90-х годов. Тогда сосчитали слабые галактики, выделяемые в глубоких площадках (т.е. на изображениях избранных областей неба, полученных с очень большими экспозициями, когда видны очень слабые и, естественно, далекие объекты). При видимой звездной величине в цветовой полосе В, большей 20^m , наблюдаемое число объектов превысило ожидаемое для моделей эволюции галактик, при которых их число не меняется со временем. Примечательно, что избыток обнаруживается только при подсчете в голубых оптических фильтрах, а в близком инфракрасном диапазоне он почти не прослеживается. Поэтому проблему часто называют проблемой избытка слабых голубых галактик.

Существование избытка слабых голубых галактик было, по крайней мере частично, прояснено наблюдениями на Космическом телескопе им.Хаббла. Высокое угловое разрешение, обеспечиваемое при космичес-

ких наблюдениях, позволило исследовать морфологию далеких галактик. Оказалось, что наблюдаемый избыток галактик связан с морфологически пекулярными, неправильными, сливающимися объектами. С другой стороны, давно известно, что взаимодействия и слияния галактик часто приводят к усилению темпа звездообразования в них, и цвет их становится более голубым. Следовательно, проблема избытка голубых галактик оказалась связана с быстрым ростом к $z \sim 1$ темпа взаимодействий и слияний между галактиками (см. выше обсуждение первой группы задач).

20. Природа скрытой массы.

Природа скрытой (темной) массы, указания на существование которой были получены еще в первой половине прошлого века, все еще остается невыясненной. На эту тему написано огромное количество научно-популярных статей (см., например, [12]) и книг, высказано множество предположений и гипотез.

Сложилась очень редкая в истории науки ситуация. Практически все согласны, что скрытая масса* есть. Она проявляет себя на разных масштабах посредством гравитационного влияния на объекты, доступные наблюдениям, — звезды, газ, галактики. Без вездесущей скрытой массы не объяснить ни плоские протяженные кривые вращения галактик, ни динамику карликовых спутников в окрестностях массивных галактик, ни движения галактик в группах и скоплениях, ни гравитационное линзирование далекими скоплениями, ни формирование крупномасштабной структуры Вселенной, ни рентгеновские короны скоплений галактик, а также множество других, совершенно независимых явлений. Но вот уже несколько десятилетий ее никак не удается идентифицировать.

Неизвестна даже форма, в которой находится эта скры-

* Не путать с темной энергией, упоминавшейся в задаче 18!

тая (от современных наблюдений) масса. Она может быть в виде обычной, барионной материи (звезд низкой светимости, остатков звездной эволюции, холодного молекулярного газа...) или в небарионной форме (например, нейтрино, аксионов или гипотетических слабовзаимодействующих массивных частиц — WIMP). Возможно, на разных масштабах скрытая масса имеет разную природу. Например, есть косвенные указания на то, что в пределах галактик распределение скрытой массы может быть связано с распределением обычного вещества (звезд и газа) и, следовательно, она скорее всего имеет барионную природу. Внешние протяженные короны галактик могут состоять из небарионного вещества. Однако все это пока только предположения...

Хочется надеяться, что эта проблема и в самом деле скоро будет решена! Хотя немного жалко терять столь интригующую загадку.

21. Отклонения от космологического расширения.

Вселенная расширяется. Чем дальше от нас находится галактика, тем с большей скоростью она удаляется. Насколько существенными могут быть отклонения скоростей галактик от регулярного космологического расширения, от «хаббловского потока»? Это важно с разных точек зрения. Например, это ограничивает точность оценки расстояния по закону Хаббла. С другой стороны, отклонения от расширения могут индуцироваться крупномасштабными флуктуациями распределения плотности, и, следовательно, исследование пекулярных скоростей галактик оказывается важным космологическим тестом.

В последние несколько лет, после того как были накоплены данные о расстояниях и скоростях для нескольких десятков ближайших к нам галактик, обнаружено, что регулярное хаббловское расширение просле-

живается не только по далеким галактикам, но и по объектам Местной группы, т.е. вплоть до 1.5–2 Мпк [13]. Но на этих масштабах распределение галактик очень неоднородно, и, если наблюдаемое распределение массы в Местном объеме влияет на кинематику галактик, близкие объекты не должны показывать столь регулярное расширение! Следовательно, движение галактик около нас слабо связано с их пространственным распределением, и кинематикой галактик руководит не их масса, а нечто другое. Что же это? По всей видимости, космологический вакуум (см. обсуждение проблемы 18), чья плотность доминирует в окружающем нас мире. Современная космология начинается не с сотен мегапарсек, а сразу за границами нашей Галактики [11]!

22. Состав и происхождение межгалактической среды (газа, пыли, камней между галактиками).

23. Время образования крупномасштабной структуры Вселенной (являются ли скопления и группы галактик старыми или молодыми).

Последние две задачи вполне ясны. Первая посвящена тому, что находится вне галактик, вторая — времени образования галактических структур. Недавнее обнаружение возможного протоскопления галактик с $z=4.1$ отодвигает это время на относительно ранние этапы эволюции Вселенной.

Точку не ставим

Выше был приведен список 23 проблем Сэндида и кратко рассмотрены некоторые из них. Многие из этих задач уже отчасти решены, работа над другими идет полным ходом. (Напомним, что Сэндида суммировал не просто интересные нерешенные проблемы, а те, решение которых, по его мнению, возможно будет найдено в течение 30 лет.)

Этот список, конечно, субъективен и отражает точку зрения лишь конкретного исследователя — Сэндиджа — на проблемы астрономии. Другой астроном или физик представит свой список задач, еще один — третий список и т. д. Например, Игорь Дмитриевич Новиков во время обсуждения доклада Сэндиджа сформулировал пять общих проблем, стоящих перед современной астрономией, астрофизикой и физикой. Эти проблемы таковы: происхождение Вселенной; структура Вселенной на самых больших масштабах; происхождение материи во Вселенной; что предшествовало началу расширения Вселенной; каково будущее Вселенной. Эти проблемы столь колоссальны и многогранны, что их обсуж-

дение выходит за рамки этой статьи.

Говоря в целом, астрономия сейчас переживает период, сходный, быть может, лишь с 20-ми годами прошлого века (открытие галактик, расширения Вселенной) или с 60-ми (обнаружение квазаров, пульсаров, реликтового излучения). Меняется общая картина Вселенной, впервые непосредственным наблюдениям стали доступны галактики от эпохи их формирования до настоящего времени, открываются планеты у других звезд... Как сказал С.Фолл, через одно-два десятилетия мы будем оглядываться на нынешние годы с ностальгией, поскольку именно в наше время делается история, открывается то, что попадет затем во все учебники.

Закончить статью хочется тривиальным утверждением, что астрономия — счастливая наука. Ее задачи столь грандиозны, а объекты исследований настолько красивы и разнообразны (взгляните на снимки с Космического телескопа им.Хаббла!), что всегда будут находиться романтики, которые, невзирая на отсутствие материальной выгоды, будут посвящать ей все свои силы... Перед астрономами во все времена стояли и будут стоять интереснейшие и важнейшие проблемы. Астроном вряд ли когда-нибудь согласится с полшуткой Ландау, что «как все хорошие девушки уже разобраны и замужем, так и все хорошие задачи решены». Хороших девушек в астрономии всегда было и будет очень много. ■

Литература

1. Рид К. Гильберт. М., 1977.
2. Гинзбург ВЛ. // Успехи физ. наук. 2002. Т.172. С.213—219.
3. Filippenko A.V. // PASP. 2001. V.113. P.1441—1448.
4. The Universe at large / Eds. G.Munch, A.Mampaso, F.Sanchez. Cambridge, 1997.
5. Решетников В.П. Взаимодействующие галактики // Природа. 2000. №6. С.13—21.
6. Bergh S. van den // PASP. 2002. V.114. P.797—802.
7. Ibata R.A., Gilmore G., Irwin M.J. // Nature. 1994. V.370. P.194—196.
8. Goldhaber G., Groom D.E., Kim A. et al. // ApJ. 2001. V.558. P.359—368.
9. Molaro P., Leusbakov S.A., Deussauges-Zavadsky M., D'Odorico S. // A&A. 2002. V.381. P.64L—67L.
10. Hu E.M., Cowie L.L., McMahon R.G. et al. // ApJ. 2002. V.568. P.75L—79L.
11. Чернин А.Д. // Успехи физ. наук. 2001. Т.171. С.1153—1175.
12. Смольников А.А. Темная материя во Вселенной // Природа. 2001. №7. С.10—19.
13. Караченцев И.Д., Макаров Д.И. // Астрофизика. 2001. Т.44. С.5—19.

Коротко

Недавно состоявшаяся китайско-британская экспедиция подтвердила, что карстовая воронка, обнаруженная в 80-х годах на территории КНР (уезд Фэнцзе мегаполиса Чунцин), — крупнейшая в мире. Максимальный линейный размер ее овального отверстия 626 м, глубина 662 м, а полный объем 119 млн м³. Воронка ведет к протяженной подземной реке.

China Science and Technology Newsletter. 2002. №303. P.3—4 (КНР).

Пятнистая гиена (*Crocuta crocuta*) в национальном парке Танзании «Серенгети» —

единственный вид из млекопитающих с природным иммунитетом к бешенству. Немецкие биологи нашли, что более трети этих плотоядных заражены вирусом бешенства, но в обследованных группах животных симптомы заболевания не были замечены. Живя группами, гиены вполне могут обмениваться малыми дозами вирусов, содержащихся в слюне, что и приводит к возникновению природного иммунитета.

Terre Sauvage. 2002. №169. P.21 (Франция).

Необычный дождь желто-зеленоватого цвета обрушился на индийскую деревню Сангрампур, расположенную в 60 км от Калькутты. Цвет дождя, его клееподобные капли вызвали панику среди населения. Опасаясь токсичного воздействия, провели их анализ. К удивлению исследователей, капли оказались пчелиными экскрементами, в которых обнаружены следы меда. Этот «дождь» принесли огромные рои пчел, пролетавших над деревней и ее окрестностями.

Sciences et Avenir. 2002. №665. P.16 (Франция).

Каменные столбы Каппадокии

Г.Ф.Уфимцев,
доктор геолого-минералогических наук
Институт земной коры СО РАН
Иркутск

Малая Азия. Этот район Средиземноморского молодого орогенического пояса обладает рядом интересных особенностей. Цоколь гор или базисная поверхность, на которую они опираются, здесь подняты на высоту более 900 м. Центральную часть Малой Азии занимает Анатолийское междугорье, сочетающее в себе большие впадины-бассейны, иногда с инверсионно поднятыми в виде плато днищами, и горные массивы. Некоторые из них представляют собой молодые вулканы. В центральной части междугорья возвышается вулкан Эрджиас (3916 м), а западнее его — вулканический массив Хасандага (3253 м). Между ними, активно извергавшимися в позднем плиоцене, близ городов Невшехир, Гореме, Учхисар и Каймаклы располагается обширное плато, сложенное кислыми (риолитовыми) туфами — слабосцементированными породами белого или светло-розового цвета. Они легко поддаются механической обработке, образуют вертикальные или нависающие стенки. Наличие между Невшехиром и Кайсером громадных объемов изверженных риолитов показывает, что заключительная фаза формирования этой части Средиземноморского подвижного

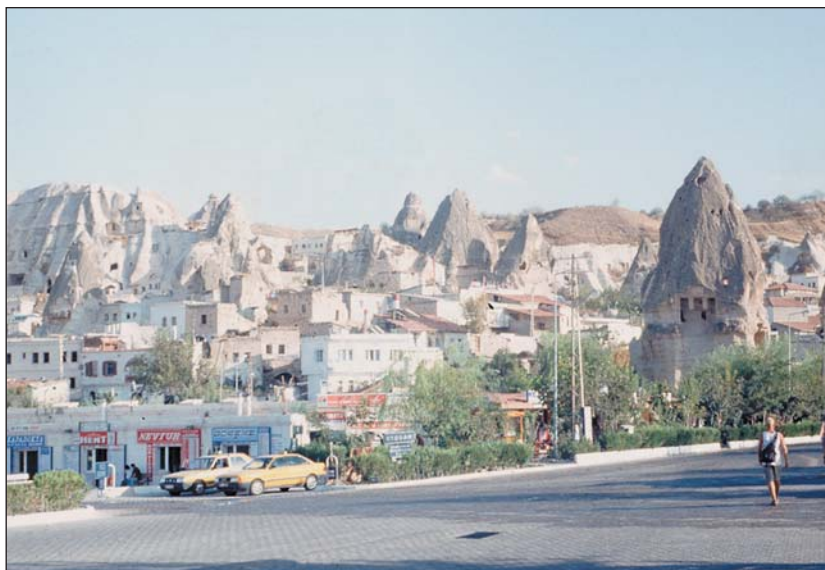


Карта-схема Анатолийского междугорья. Стрелкой показано положение Гореме и его окрестностей.

пояса характеризовалась глубоким преобразованием гранитно-метаморфического слоя литосферы с большим привнесом летучих химических соединений.

В четвертичное время вулканическое плато стало расчленяться водотоками. В нем возникли разновысотные ступени

и долины глубиной в несколько сотен метров. Характер коренных пород (однородная толща туфов) своеобразно отразился на особенностях морфологического ландшафта. На востоке от Невшехира, на склонах и в днищах долин, выделяются удивительные скопления живописных



Останцы различной формы в центральной части Гореме. Видны выбитые в них помещения.

Здесь и далее фото автора



Группы конических останцов вдоль дороги к музею под открытым небом.

скальных клыков, конусов, пирамид, столбов и башен, относимых к одному из чудес Земли — памятнику природы Гореме [1]. Внес свою лепту и человек: в средневековье в легко поддающейся обработке толще пород выбивались православные византийские церкви и монастыри, кельи отшельников, жилые и хозяйственные помещения, целые многоэтажные подземные

города. В них хорошо сохранилась церковная живопись начала 2-го тысячелетия новой эры [2]. Участвуя в сентябре 2001 г. в Международном симпозиуме по геологии Турции в г.Адане, я почел за благо посетить это удивительное место в исторической области Каппадокии. Меня интересовали творения, созданные Природой. Творения рук человеческих в Каппадокии тоже впе-

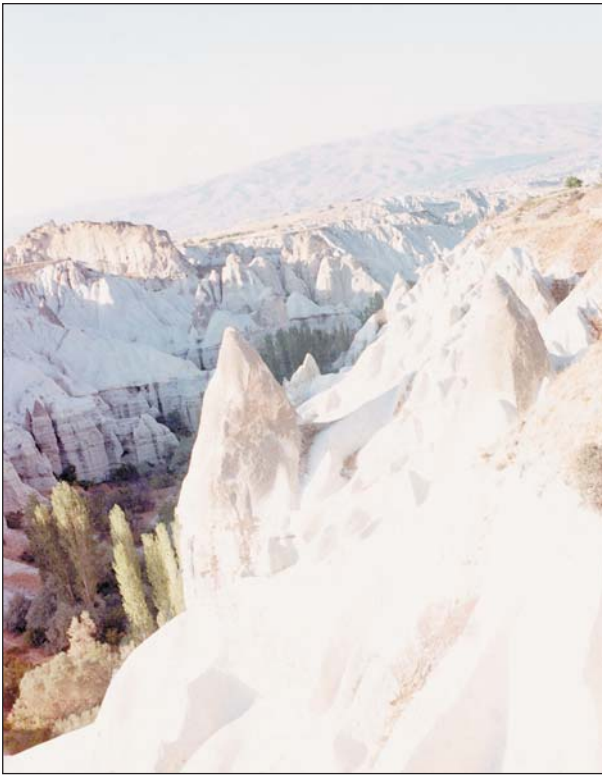
чатляют, но эта тема заслуживает специального рассмотрения историком или искусствоведом.

Морфологический ландшафт пирокластического (туфогенного) плато в окрестностях городков Учхисара и Гореме имеет четко выраженную ярусность. Верхний ярус рельефа представляет собой две полого наклоненные на север ступени. Над нижней возвышаются ограниченные крутыми уступами плато и холмы верхней ступени, а также неправильной формы скальные останцы. Последние выступают над поверхностью верхней ступени более чем на 100 м.

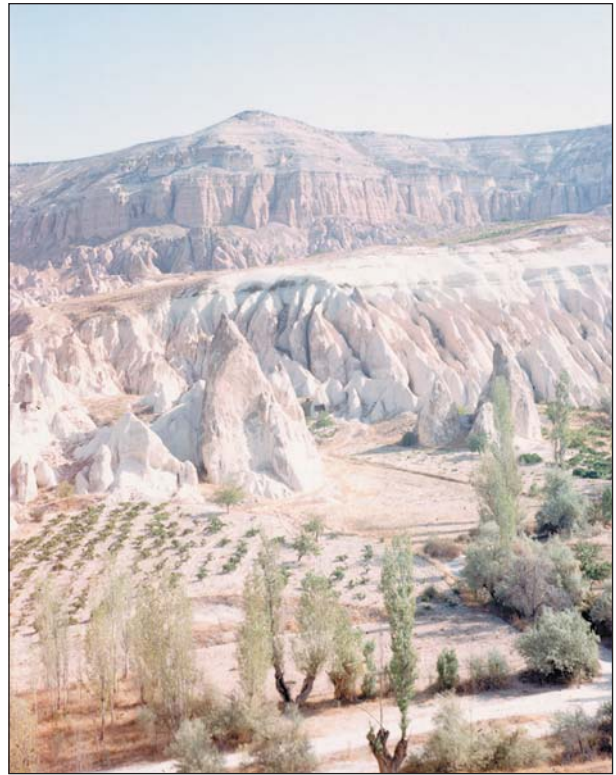
В туфогенное плато врезаны долины с сухими руслами, ограниченные крутыми склонами, как правило, занятыми денудационными останцами. Уже в пределах долин прослеживается второй ярус рельефа в виде пологонаклонных подгорных денудационных равнин-педиментов. Их поверхности однородны, либо на них насажены многочисленные конусы выпуклых останцов, которые придают особую привлекательность каппадокийскому морфологическому ландшафту. Подгорные равнины понижаются в сторону днища основной долины и одновременно прорезаются боковыми долинами, на бортах которых наблюдается масса конических останцов, выработанных в туфах.

Третий ярус составляют днища современных долин, в основном также с сухими руслами.

Денудационные останцы по форме и позиции в рельефе разделяются на три группы: склоновые, на поверхности плато и на подгорных денудационных равнинах. Большие по размерам, неправильной формы останцы первой группы с выбитыми в них подземными помещениями, видимо, использовались в качестве оборонительных сооружений. Такая скала в центре Учхисара (хисар по-турецки — крепость) «сторожит» западный вход в долину Гореме. Останцы на склонах наиболее многочисленны



Белоснежные каменные клыки на бортах узкой долины у северо-восточной окраины Гореме.



Эволюционный ряд останцовых форм: субвертикальная с промытыми трещинами стенка, белоснежные «акулы челюсти» склонов и серые изолированные останцы в долине.

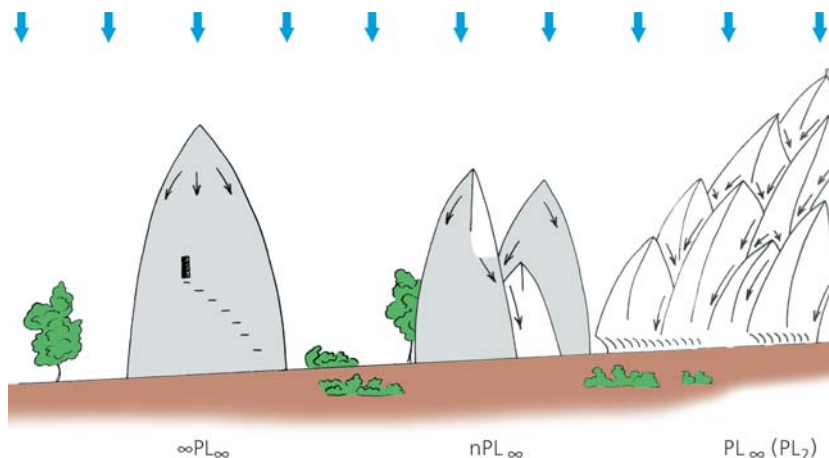
и образуют бедленды — дурные земли. Эти преимущественно конической формы выступы на склонах выработаны в свежих (невыветрелых) риолитовых туфах и потому буквально сверкают белизной. Они подобны клыкам, а обращенные в сторону долины ребра скатов образуют живописный ландшафт типа «акулы челюсть». Денудационные останцы третьей группы занимают вершины и пологие скаты педиментов подгорного яруса. Наиболее распространены конусы с чуть выпуклыми скатами высотой в несколько десятков метров. Именно в них чаще всего выбиты разнообразные подземные помещения. Различной высоты столбы, увенчанные коническими крышами, напоминают крепостные башни, а некоторые по форме даже — грибы-боровики. Живописная их группа располагается под правым бортом

долины Земи, по дороге в музей под открытым небом, на восточной окраине Гореме. Относительно редки и необычны небольшие грибочки с тонкими ножками и широкими шляпками. Конусы и столбы, стоящие на денудационной равнине придолинного яруса, обладают темно-серым цветом за счет тонкой (несколько сантиметров) корки выветрелого материала на поверхности. Этот признак имеет определенное значение для понимания формирования и существования ландшафта скальных останцов в пределах каппадокийского туфогенного плато.

Обсуждая этот вопрос, следует сказать, что столбы и конусы Гореме и его окрестностей часто называют земляными пирамидами. Верно ли это? Нет! Земляные пирамиды формируются на откосах и склонах, сложенных слабосцементированными валун-

никами или галечниками, и представляют собой образования, сверху покрытые плоскими глыбами, которые и защищают их от размыва атмосферными осадками. Ничего подобного мы не видим в Гореме, где скальные конусы, развиваясь на склонах, выходят затем на поверхность денудационных подгорных равнин. Нередко в их основаниях располагаются глубокие (до 1 м) ниши-забои, столь характерные для процесса педиplenации (выравнивания рельефа) вообще и параллельного отступления склонов, в частности.

На северо-восточной окраине Гореме наблюдается весь эволюционный ряд форм рельефа, конечный элемент (результат) которого — скальные конусы и столбы на подгорной денудационной равнине. Сначала на склоне образуется подрезающая его скальная стенка. Параллель-



Развитие каменных останцов и изменение их симметрии — от склоновых скальных клыков до башен на поверхности педимента. Широкими стрелками показаны атмосферные осадки, узкими — струйчатый смыв на бортах долин и стенках останцов.

ные трещины в ней раскрываются из-за оседания пластинчатых блоков, по которым в скальный массив проникают атмосферные воды. В результате проработки дождевыми стоками внутренние зоны расширяются, расчленяя скальные стенки на вытянутые параллелепипедальные блоки. Дождевыми водами и струйчатым склоновым смывом, температурным выветриванием наиболее интенсивно прорабатываются верхние части таких блоков. Сначала они закругляются, а затем становятся коническими. При этом благодаря формированию густой сети склоновых промоин вскрываются головки параллелепипедальных блоков по всему склону, и в конечном счете все они превращаются в белоснежные или светло-розовые скальные клыки, группирующиеся в склоновый бедленд типа «акуля челюсть». Наиболее крупные скалы не разрушаются, выходят на денудационную поверхность и формируются в останцы. Они сразу «одеваются» в тонкую серую корку выветривания, между тем как рядом рас-

положенные склоновые клыки сияют белизной. Последние находятся в постоянном развитии, и продукты выветривания не задерживаются на поверхности.

Скальные останцы Каппадокии — удивительная иллюстрация к законам симметрии в природе. Фоновый процесс при их выработке — выпадение атмосферных осадков (грубо говоря, равномерное и однонаправленное — сверху вниз). На склонах ливневые воды по сложной системе рытвин и ложбин концентрируются в потоки. Одностороннее воздействие их на горные клыки в первую очередь способствует выработке ребер на фронтальных поверхностях, благодаря чему останцы обретают ясно выраженную билатеральную симметрию. Но конические скальные клыки отклоняются от идеальной симметрии конуса (∞PL_{∞}), свойственной статичным (устойчивым) образованиям [3], в сторону групп PL_{∞} , PL_2 и P , характерные формы которых развиваются в условиях анизотропности формирующих их процессов.

Когда группа таких скал обособляется от «акулей челюсти», она сразу покрывается серой коркой выветривания. Рассекающие ее борозды и рытвины невелики по протяженности и уже не обеспечивают концентрации в них водных струй. Такие образования делают первый шаг в сторону полной симметрии конуса, и их форма чаще описывается группой nPL_{∞} . И наконец, на поверхностях изолированно стоящих конических останцов дождевой сток рассредотачивается, и это уже устойчивые образования с полной симметрией конуса ∞PL_{∞} .

Каппадокийские скальные столбы и конусы как удивительный памятник Природы сформировались благодаря сочетанию ряда факторов: континентальному климату с ливневыми летними осадками, однородной туфогенной толще, легко поддающейся обработке, вертикальным трещинам отдельности. В других местах мы можем видеть лишь отдаленные аналоги, подобные массиву Гореме. Это крутые склоны кустоподобных хребтов вокруг Кисловодска, где на скальных уступах запечатлена ранняя стадия формирования склоновых скальных клыков; бедленды в адырах — предгорьях хребтов Тянь-Шаня («пылающие горы» вблизи Турфана, дробно расчлененные предгорные гряды в районе Тона у южного побережья Иссык-Куля); каменные леса в Юньнани в Южном Китае. Но все они формируются в иных геологических и тектонических условиях, и поэтому склоновые столбы, конусы и пирамиды не выходят на подгорные молодые денудационные равнины, которые в подобных ситуациях и не формируются. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-05-65638.

Литература

1. Бауэр Э. Чудеса Земли. М., 1978.
2. Demir O. Cappadokia. Cradle of History: 10th revised edition. Newsehir, 1996.
3. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. Л., 1968.

Камчатское течение

К.А.Рогачёв,

кандидат физико-математических наук

Тихоокеанский океанологический институт им.В.И.Ильичёва

Дальневосточного отделения РАН

Владивосток

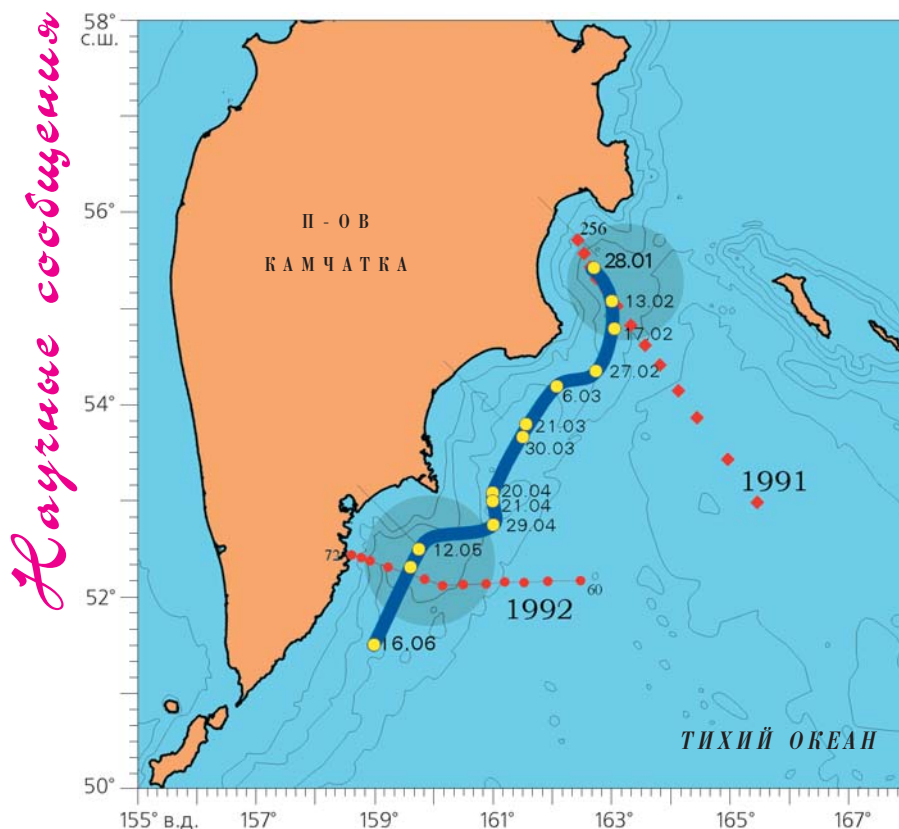
В последнее десятилетие на северо-западе Тихого океана произошли значительные изменения температуры и солёности. Камчатское течение и его продолжение — течение Ойясио — играют в этом главную роль [1, 2]. Полученные недавно данные со спутников позволяют существенно дополнить довольно редкие в этом районе наблюдения с научно-исследовательских судов и пересмотреть принятые ранее представления о структуре и динамике Камчатского течения.

Крупномасштабная циркуляция к северу от 35°с.ш. в Тихом океане включает несколько главных течений. Это прежде всего продолжение всем известного Кюросио. Его воды подхватывает широкое Северо-Тихоокеанское течение и несёт их дальше на восток. Поток разделяется на южную и северную ветви (Калифорнийское и Аляскинское течения). Последняя поворачивает на запад и переносит относительно теплую воду в слое 200—400 м из Западного полушария в Восточное. Значительная часть вод Аляскинского течения входит через глубокие проливы Алеутских о-вов в Берингово море. Остальной поток движется дальше на запад и составляет северную дугу западного субарктичес-



Камчатка и Камчатское течение с борта космического корабля «Шатл». Снимок сделан астронавтом с высоты 382 км в марте 2001 г. Справа в центре — антициклонический вихрь в поле льда в Кроноцком заливе. Изображение приводится с разрешения НАСА (Johnson Space Center, <http://eol.jsc.nasa.gov>).

© К.А.Рогачёв



Траектория антициклонического вихря Камчатского течения с января по июнь 2002 г. Расположение океанографических разрезов в Авачинском (март 1992 г.) и Камчатском (апрель 1991 г.) заливах.

кого круговорота. У берегов Камчатки эти воды поворачивают на юго-запад и вместе с холодными водами, поступающими из Берингова моря через Камчатский пролив, формируют Камчатское течение. Вместе с Ойясио оно замыкает этот круговорот.

Самое мощное течение в западной части Тихого океана — Куроисио — переносит 30–60 Мт воды в секунду, благодаря различию в плотности его субтропических (теплых и легких) и субарктических (холодных и тяжелых) вод. Уровень моря в Куроисио примерно на метр выше, и эта разность — основная причина так называемого геострофического переноса, когда поток вод формируется градиентом давления и силой Кориолиса. Какие же силы поддерживают другие течения Западной Субарктики, например Камчатское?

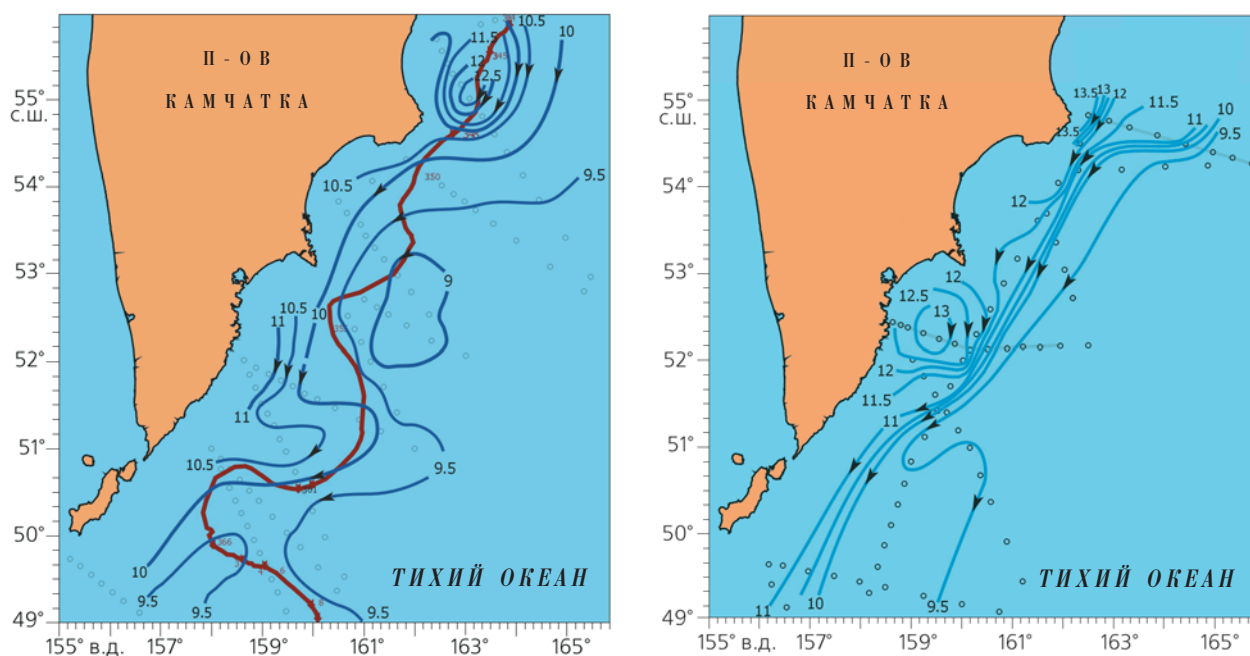
В 1990–1992 гг. в четырех рейсах на научно-исследовательских судах «Академик А.П.Виноградов», «Академик М.А.Лаврентьев» и «Прилив» (два весной — в марте и апреле, два осенью — в августе и сентябре) были детально исследованы как само Камчатское течение, так и его главная особенность — антициклонические вихри. При этом каждый из вихрей был дважды пересечен двумя перпендикулярными разрезами.

Информация, полученная с американских спутников «NOAA» и обработанная в Региональном центре спутниковых данных во Владивостоке, позволила определять температуру поверхности океана и получать последовательные изображения вихрей и локальных фронтов Камчатского течения.

Максимальная скорость буев, дрейфующих в Камчатском течении, за сутки превышает 1 м/с [3], а средняя составляет 0,5 м/с. Геострофический перенос массы Камчатским течением, рассчитанный нами по наблюдениям за соленостью и температурой, составил 6–16 Мт/с, и такой мощный поток существует в холодных водах на 3000 км к северу от Куроисио.

Удивительно, что несмотря на то, что Ойясио является по сути продолжением Камчатского течения, их вихри движутся навстречу друг другу. Оба эти течения (их называют западными пограничными) простираются более чем на 2000 км вдоль Камчатки и Курильских о-вов и переносят основную часть массы в пределах 150–200 км от берегов, что определяется градиентом давления, связанным с различием плотности воды. Так, у континентального склона Камчатки происходит заглупление галоклина — слоя с резким изменением солености, — а само Камчатское течение выносит холодные воды низкой солености из Берингова моря. Основные источники этой воды — тающий лед, осадки и речной сток. При этом дрейф льда определяется не только ветром, но и самим прибрежным течением.

Главная особенность западных пограничных течений Субарктики — Ойясио и Камчатского — существование больших (диаметром 150–200 км) антициклонических вихрей. В Ойясио они формируются в субарктической фронтальной зоне к востоку от Японии (в месте слияния этого течения с Куроисио), затем мигрируют на северо-восток в субарктические воды. Во время формирования вихри избирательно вытягивают теплую и соленую воду из промежуточных слоев Куроисио или фронтальной зоны для формирования своего ядра. Эти вихри движутся вдоль Курило-Камчатского желоба против течения Ойясио, перенося теплую и со-



Динамическая топография Камчатского течения в апреле 1991 г. (слева) и марте 1992 г. Динамическая высота на поверхности рассчитана относительно уровня 1000 децибар. Красная линия — траектория дрейфующего буя (метки — дни наблюдений), данные предоставлены Ф.Стабено, NOAA. Буй прошел от Камчатского залива до южной оконечности Камчатки за две недели (660 км со средней скоростью около 51 см/с).

леную воду вплоть до пролива Буссоль. Один из них был прослежен до пролива Крузенштерна. Однако на этом длинном пути их теплое и соленое ядро постепенно исчезает и заменяется холодным и пресным.

Антициклонические вихри Камчатского течения изучались еще в конце 80-х годов с научно-исследовательских судов и спутников. Оказалось, что в Авачинском заливе они имеют размеры 70–150 км и холодное ядро и движутся на юго-запад со скоростью 1–8 км/сут [3]. Скорость перемещения одного из таких вихрей (в марте 1989 г.) составила около 5 км/сут, что на порядок меньше скорости Камчатского течения, определенной по дрейфу поверхностных буйев (~50 км/сут).

Совсем недавно мы наблюдали за Камчатским течением, используя новую спутниковую информацию. Один из вихрей в серии последовательных изобра-

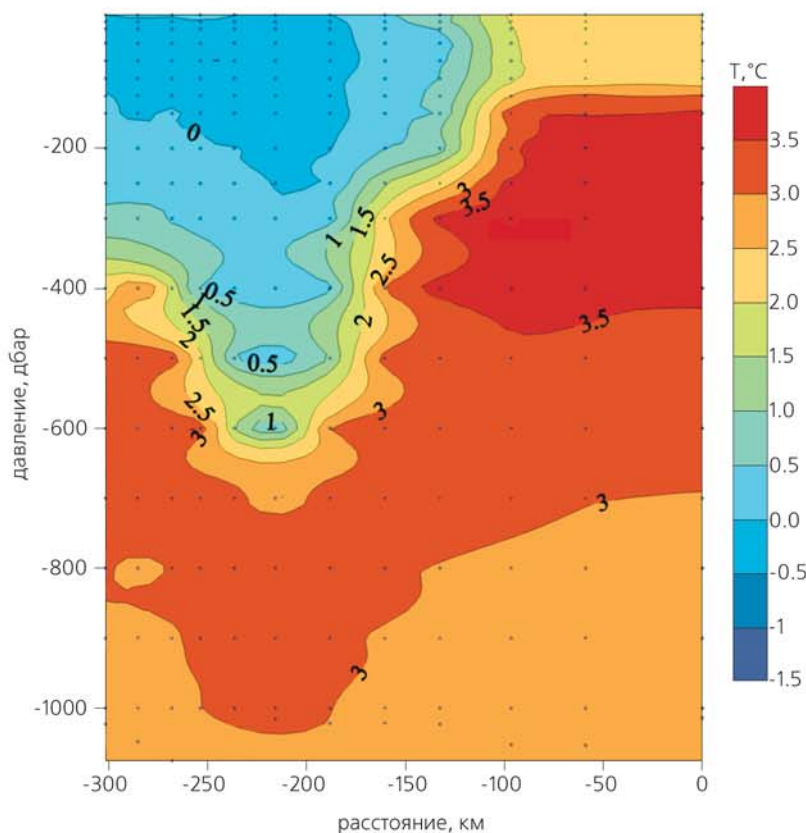
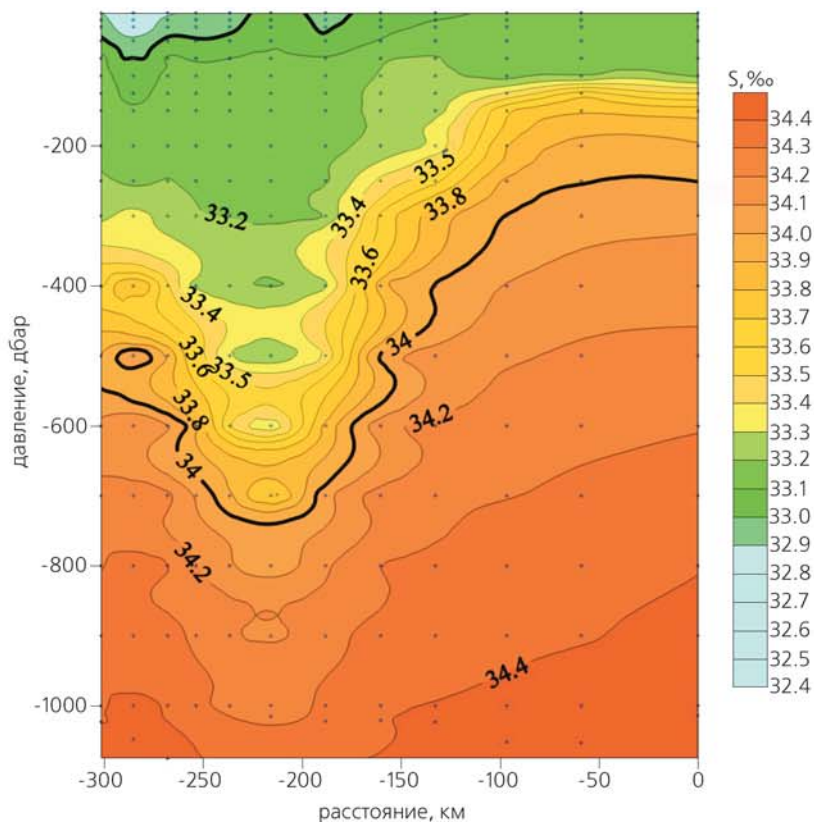
жений двигался от Камчатского пролива на юго-запад (до южной части Камчатки) в течение шести месяцев. Дрейфующие в верхнем слое океана буйи проходили это же расстояние менее чем за две недели.

Океанографические съемки, выполненные в апреле 1991 г. и марте 1992 г., показали значительную межгодовую изменчивость в переносе распресненной воды Камчатским течением. Например, в марте 1992 г. соленость верхнего слоя в южной части Камчатского залива была значительно ниже, а динамическая высота* примерно на 30 см

* Динамическая высота прямо связана с давлением столба морской воды и используется для расчета геострофических течений. Она вычисляется по наблюдениям за температурой и соленостью. Единица измерения — динамический метр (дин. м), соответствующий изменению уровня в 1.02 м. Течения в Северном полушарии направлены так, что наибольшие значения динамической высоты остаются справа от оси течения, а скорость потока прямо пропорциональна ее градиенту.

больше, чем в апреле 1991 г. У берега она увеличилась из-за переноса воды низкой солености прибрежным течением и заглупления галоклина. Кроме того, в конце марта 1992 г. в Камчатском заливе был лед, таявший вдоль побережья (в апреле 1991 г. его не было). Разрез водной массы по вертикали в южной части Камчатского залива, выполненный в марте 1992 г., показал хорошо выраженное прибрежное течение на расстоянии 25 км от берега.

В апреле 1991 г. в Камчатском заливе располагался антициклонический вихрь со значением динамической высоты в центре 1.25 дин. м. А у другого вихря, который в марте 1992 г. располагался на 400 км южнее, в Авачинском заливе, эта высота составила 1.34 дин. м. Таких характеристик не наблюдалось ни у одного антициклонического вихря не только в Камчатском течении, но и вблизи Куриль-



Разрезы солёности (вверху) и температуры через вихрь Камчатского течения, выполненные 21 апреля 1991 г. в Камчатском заливе.

ских о-вов. Минимальное значение динамической высоты соответствует водам, происходящим из Аляскинского течения с теплым промежуточным слоем, но высокой солёностью и значительной стратификацией (развитым галоклином, под которым расположен слой теплых промежуточных вод на глубине 200–300 м).

Анализ последовательных спутниковых изображений показал, что антициклонические вихри Камчатского течения образуются не в заливах Камчатки (как предполагалось ранее, [4]), а движутся по крайней мере от Камчатского пролива на юго-запад. Перемещение одного из них к южной оконечности полуострова с января по июнь 2002 г. позволяет определить среднюю скорость такого дрейфа: она составляет около 7 см/с.

В 2002 г. «семейство» камчатских вихрей составило не менее 10 антициклонов. Масса холодной воды только в одном из них (глубиной 1000 м и диаметром 150 км) — около $7 \cdot 10^7$ Мт. Примерно за год перенос массы таким антициклоном составит около 2 Мт/с. Даже если за год их образуется не 10, а, например, семь, все вместе они дадут около 14 Мт/с. Геострофический перенос массы самим Камчатским течением на разрезе через вихрь в марте 1992 г. достигал 12 Мт/с (на юге Камчатки, в Авачинском заливе, у 52° с.ш.) и 16 Мт/с (на севере, в Камчатском заливе, у 55° с.ш.). Таким же он был здесь и в апреле 1991 г. Из этого следует, что перенос массы вихрями вполне сравним по величине с переносом самим течением.

Среднемесячные данные об уровне на востоке Камчатки (станция «Петропавловск-Камчатский») мы сравнили с аналогичными для Японского моря — о.Хоккайдо, станция «Вакканай». (Скорректированные на атмосферное давление, они были получены с помощью международной программы «Интегральная система наблюдений по гло-

бальному океану.) Циркуляция у берегов Японии в значительной степени определяется потоком теплых и соленых субтропических вод, которые входят через Цусимский пролив. Частично они проникают в Охотское море через пролив Соя (Лаперуза), соединяющий Охотское и Японское моря. Разность уровня моря на прибрежных станциях, расположенных на противоположных берегах, — мера потока теплого течения Соя в Охотское море, а повышение прибрежного уровня на станции «Вакканай» — признак его усиления.

На станциях «Вакканай» и «Петропавловск-Камчатский» хорошо выражены сезонные вариации уровня, но их ход противоположен. В результате разность уровня между субтропическими («Вакканай») и субарктическими водами («Петропавловск-Камчатский») достигает наибольшей величины летом или ранней осенью (август—октябрь), а наименьшей — зимой (декабрь—февраль).

Долговременные наблюдения показывают, что максимальная разность уровня между Камчаткой и Хоккайдо наблюдалась в 1996—1997 гг., а минимальной она была в 1989—1991 гг. Эти вариации уровня отражают главные черты изменений температуры и солёности — термо-

халинного перехода, — произошедшего в субарктической части Тихого океана в последнее десятилетие.

Полученные нами данные показывают большие сезонные вариации динамической высоты и прибрежного уровня у восточной части Камчатки. Они демонстрируют также важную роль переноса воды низкой солёности Камчатским течением в формировании прибрежного уровня.

Разность уровня играет главную роль в региональной циркуляции, а динамическая высота в свою очередь зависит от влияния температуры и солёности на плотность.

Например, увеличение температуры воды на 1°C при начальной 15°C (типичной для субтропиков) понизит плотность в семь раз больше, чем такое же изменение температуры воды при начальной -1°C (обычной для Субарктики). Поэтому, если верхний слой в теплой субтропической воде стратифицирован в основном по температуре, то холодные воды в высоких широтах — по солёности. Отсюда следует, что воды Курошио реагируют на сезонное воздействие потоков тепла и соли иначе, чем воды Ойясио и Камчатского течения. Например, понижение солёности на единицу в слое до 150 м в Авачинском заливе повы-

шает уровень моря на 12 см. Максимум уровня летом (июль—август) и минимум в феврале на побережье Японского моря существуют благодаря нагреву. С другой стороны, из-за увеличенного потока распресненной воды и заглупления термоклина уровень в Камчатском течении изменяется противоположно, что приводит к его максимуму в декабре.

В заключение отметим: поскольку характеристики вихрей (прежде всего температура, солёность и динамическая высота) значительно меняются, следует ожидать, что перенос пресной воды Камчатским течением испытывает значительные вариации. Более того, перенос — важная причина повышения прибрежного уровня. Все это говорит о том, что изменения климата в Субарктике зависят от потока и распределения воды низкой солёности так же существенно, как и от изменений температуры. ■

Работа выполнена при поддержке лаборатории спутникового мониторинга Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН (и в частности И.И.Горина и М.Г.Алексашиной); а также Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-05-96902.

Литература

1. *Рогачёв К.А.* Вихри течения Ойясио // *Природа*. 2001. №12. С.36—42.
2. *Rogachev K.A.* Recent variability in the Pacific western subarctic boundary currents and Sea of Okhotsk // *Progress in Oceanography*. 2000. V.2—4(47). P.299—336.
3. *Stabeno P.J., Reed R.K., Overland J.E.* // *Journal of Oceanography*. 1994. V.50. P.653—662.
4. *Храпченков Ф.Ф.* // *Океанология*. 1991. Т.6(31). С.949—954.

Морские пещеры и их обитатели

А.Н.Миронов,

доктор биологических наук

Л.И.Москалев,

кандидат биологических наук

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Москва

Подземные пещеры издавна привлекали внимание как спелеотуристов, так и ученых-спелеологов. В XX в. во многих странах для изучения животных, обитающих в подземных пространствах, созданы научные и спортивные спелеологические общества, научно-исследовательские учреждения; пещерной фауне посвящены десятки монографий, периодические издания и энциклопедии. В отечественной литературе наиболее известна обзорная статья, написанная московским зоологом Я.А.Бирштейном в 1940 г. и переизданная в 1985 г. [1, 2]. Однако подавляющее большинство работ посвящено исследованиям сухопутных и пресноводных троглобионтов (животных, населяющих пещеры); изучением фауны морских пещер всерьез занялись лишь во второй половине прошлого века, когда появились подходящие для этих целей водолазное снаряжение и подводная техника.

Типы морских пещер

Морские пещеры весьма разнообразны. В зависимости от происхождения их разделяют на карстовые (коррозионные),

поствулканические (возникшие в лавовых потоках на месте бывших скоплений газов), эмбрионные (волноприбойные ниши) и др. Пещеры могут быть непосредственно связаны с морем (истинно морские) и изолированы от него толщей грунта, через которую сказывается влияние приливно-отливных течений (анхиаэринные); промываемыми и застойными; с морской или опресненной водой; полностью или частично затемненными и т.д. Даже если подземные пространства с морской или солоноватой водой различать только по способу их соединения с морем, то и в этом случае можно выделить несколько типов.

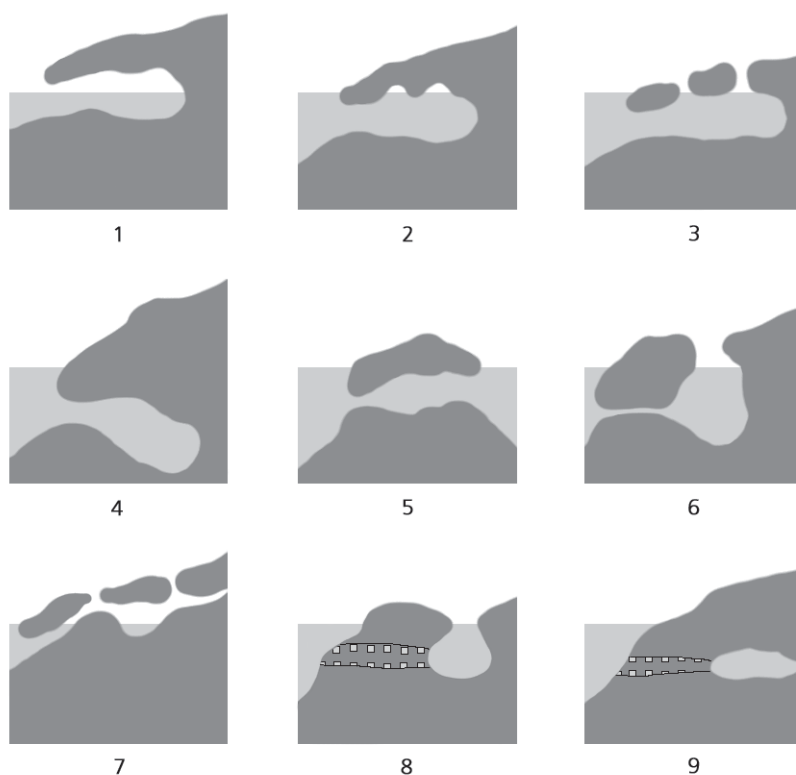
Объединяет все морские пещеры общая особенность — дефицит органического вещества. Выражаясь научным языком, морская пещера — это олиготрофная система. Фито-, зоопланктон и взвешенные в воде частицы детрита (сестон) заносятся извне волновыми и приливно-отливными течениями. Более грубые частицы растительного и животного происхождения попадают в пещеры во время штормов или с суши через выходы, если они есть. У боковых и верхних входов в пещеру, куда проникает солнечный свет, развиваются первичные фитопроизводители.

Влияние количества поступающего органического вещества на состав фауны и структуру сообществ легко проследить на примере морской пещеры с одним входом со стороны моря. В такой пещере в классическом варианте можно выделить три основных типа сообществ сестонофагов. Участки дна и стен вблизи входа заняты сообществами «полутемной пещеры», разнородными по трофической структуре и видовому составу, среди которых довольно много обитателей открытого моря. Более удаленные от входа участки твердого субстрата населены сообществами «темной пещеры» с доминированием пассивных сестонофагов, например гидроидов. Эти сообщества существуют в основном за счет принесенных течениями взвешенных органических частиц. В конце пещеры с очень слабой динамикой воды и недостатком органики обитают угнетенные сообщества «темной пещеры», в которых преобладают активные фильтраторы, сами создающие ток воды, например губки и серпулидные полихеты. В фауне внутренней части пещеры возрастает роль таксонов, специфичных для скрытых биотопов.

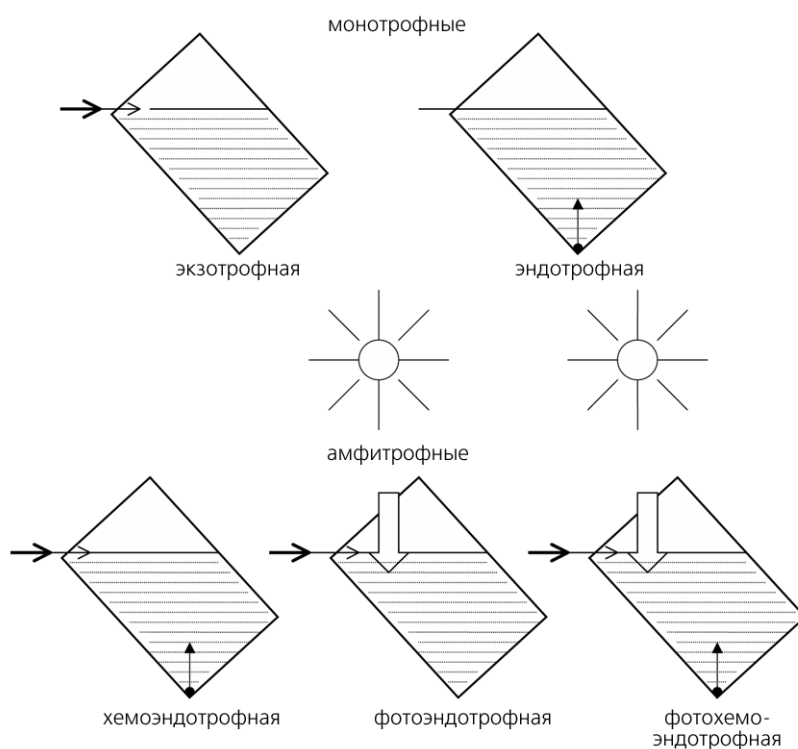
В начале 20-го столетия произошло очень важное открытие, которое было оценено почти

полвека спустя. В некоторых пещерах Европы обнаружили автохтонные источники органического вещества, продуцируемого внутри темной части пещеры. На основе поступающих с подземными водами сероводорода, соединений железа и азота развиваются бесцветные сероокисляющие бактерии, морфологически сходные с *Beggiatoa*, нитчатые железобактерии типа *Leptothrix*, а также нитрифицирующие бактерии. Все эти бактерии способны усваивать CO₂ за счет окисления неорганических соединений, снабжая тем самым пещеры органическим веществом хемосинтетического происхождения. Учитывая эти данные, Е.Дудич предложил различать пещеры по числу источников органического вещества на моно- и амфитрофные, а среди монотрофных он выделил гипотетический эндотрофный тип пещер, сообщества которых существуют только на основе хемосинтетической органики [3].

Классификацию, предложенную Дудичем, надолго забыли. Однако в 1979 г. как сенсация века прозвучало сообщение об открытии глубоководных гидротермальных сообществ, существующих на основе хемосинтетической органики. Одним из основных продуцентов этих сообществ оказались все те же серобактерии *Beggiatoa*. Вслед за открытием гидротермальных сообществ вырос интерес и к пещерам с хемосинтетическим источником органики. Бак-



Типы морских (1–5) и анхиаинных пещер (6–9): с воздушным пространством (1–3, 6–8) и без него (4, 5, 9); с выходом на сушу (1, 3, 6–8) и без (2, 4, 5, 9); тупиковые (1, 2, 4), сквозные (3, 5, 6, 7) и замкнутые (9); со слоем грунта, содержащим грунтовые воды и соединяющим анхиаинный водоем с морем (8,9).



Классификация пещер по источникам органического вещества [3]. Стрелками обозначены три типа источников органического вещества: автохтонный фотосинтез (вертикальная, вниз обращенная стрелка), автохтонный хемосинтез (вертикальная, вверх обращенная стрелка) и аллохтонная органика (горизонтальные стрелки).

териальная хемосинтетическая продукция в некоторых из них очень высока. Так, в пещере Вилла Лус (Южная Мексика) обнаружено более 20 подземных источников, поэтому характерный запах сероводорода улавливается далеко от ее входа, а внутри — не обойтись без респиратора. Стены и потолок покрыты бактериальными хемосинтетическими матами разной формы: в виде свисающих сверху сталактитов, рельефной бледнолиловой ткани, шариков, U-образных петель. В одной из пещер на юге Румынии обнаружена уникальная хемоавтотрофная система плавающих матов из сероокисляющих бактерий и грибного мицелия. Они адаптированы к водам с низким содержанием кислорода и пышно растут даже в анаэробных условиях. Наиболее детально изучены пещеры мыса Палинуро (юго-западное побережье Италии), внутри которых расположены серные источники. Вблизи источников вода на пять-шесть градусов теплее, чем в окружающей морской. На дне и стенах пещер развиты бактериальные маты, состоящие в основном из бактерий, похожих на *Beggiatoa*. Сообщества «темной пещеры» значительно богаче по биомассе и числу видов, чем в обычных. По мере приближения к сульфидному источнику численность одних видов возрастает, других — убывает. В зависимости от вида и местоположения, доля потребляемой органики хемоавтотрофного происхождения меняется от нуля до 100%.

Население

В последнее время все чаще говорят не о пещерной морской фауне, а о так называемой скрытой фауне морских убежищ, которая кроме стигобионтов (обитателей пещерных водоемов, в том числе и грунтовых вод) включает животных, населяющих глубокие расщелины, скры-

тые от внешнего взора пространства, образуемые скальными навесами и коралловыми рифами. Биота мелководных пещер изучена довольно полно, а вот фауна глубоководных (более 200 м) — еще не раскрытая и интригующая страница морской биологии.

Стигиобионтные животные во многом похожи на обитателей океанических глубин. И те и другие отличаются от своих сородичей открытого мелководья небольшими размерами, тонким скелетом, отсутствием пигментации (белая или желтоватая окраска тела), редукцией органов зрения, низкой плодовитостью, наличием педоморфных (личиночных) признаков у взрослых особей, преобладанием лецитотрофного типа развития (с планктонной личинкой, питающейся содержимым яйца). Появление одного и того же набора адаптаций у пещерных и глубоководных животных можно объяснить прежде всего схожестью условий их обитания: отсутствием света и фотосинтетической продукции, слабой волновой и приливо-отливной гидродинамикой, бедностью пищевых ресурсов и относительно небольшим количеством хищников. При этом главный фактор, определяющий адаптивную стратегию животных, — недостаток пищи: именно с этим, вероятно, связаны малые размеры тела и примитивность в строении. Яркий тому пример — двустворчатые моллюски. Известно, что длина раковин как пещерных, так и абиссальных видов в среднем не превышает 5 мм, что в десятки, а иногда и сотни раз меньше средней длины раковин моллюсков открытого шельфа [4]. Показательно, что на глубоководных гидротермальных и сиповых полях, обильно снабженных органикой, двустворчатые моллюски, как, впрочем, и многие другие беспозвоночные, достигают необычно больших для океанических глубин размеров. Так,

длина раковин *Bathymodiolus* в этих условиях — до 360 мм, а у *Calyptogena* — до 300 мм (обычный их размер — примерно 50 мм).

Благодаря расширению географии исследований и применению более совершенных методов в последние десятилетия удалось существенно пополнить общий список стигобионтов, в том числе и список видов, которые не встречаются за пределами пещерных водоемов (стигибитов). Оказалось, что в анхиалинной фауне все стигобитные таксоны высокого ранга относятся к группе ракообразных, причем самый высокий из них — класс Remipedia*. По этому признаку фауна анхиалинных водоемов превосходит фауны других изолированных биотопов. Даже в глубоководной гидротермальной фауне, в которой доля облигатных (приуроченных к данному биотопу) видов достигает рекордного значения (около 90%), нет облигатного таксона ранга класса [5]. Наиболее специфичные для гидротерм беспозвоночные животные класса Vestimentifera обитают также за пределами гидротерм — в холодных сиповых излияниях, на скелетах погибших китов и растительных остатках.

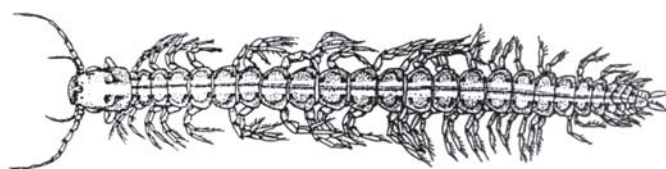
Первый вид класса Remipedia — *Speleonectes lucayensi* — пойман более 20 лет назад в одной из пещер Багамских о-вов. Удивительно, что эти сравнительно крупные (длина тела до 45 мм) и, как позднее выяснилось, многочисленные ракообразные оставались столь долгое время незамеченными. К настоящему времени описаны 12 видов из класса Remipedia, относящихся к шести родам, двум семействам и одному отряду; все таксоны оказались облигатными для анхиалинных водоемов [6]. Еще один крупный таксон ракообразных — отряд Mictacea — выделен на основе изучения

* До открытия Remipedia классом считались ракообразные, которых теперь рассматривают как надкласс внутри типа членистоногих.

Mictocaris balope из анхиалинных пещер Бермудских о-вов [7]. Ракообразные отряда Thermo-sbaenacea первоначально обнаружены в грунтовых водах, затем во многих анхиалинных пещерах [8]. Креветки стигобитного надсемейства Procaridoidea впервые найдены в небольших анхиалинных пулах (бассейнах) о. Вознесения [9].

Сравнительно недавно удивительными находками был дополнен список стигобионтных губок. В одной из средиземноморских пещер обнаружена губка *Myceliospongia araneosa*, которая оказалась самой необычной среди современных представителей класса Demospongiae. Она лишена скелета и кортекса, при этом поверхность тела значительно увеличена за счет нитчатых выростов, стелящихся по субстрату. Растет *M. araneosa* на вертикальных и нависающих стенах в стабильных холодноводных условиях. По мнению описавших эту губку авторов, она достойна выделения не только в новый род, но и в новый отряд [10].

В пещерах, полостях коралловых рифов на мелководье, в открытых биотопах батиали обитает единственный представитель семейства Vacellitiidae — *Vacellitia crypta*, систематическое положение которого также осталось невыясненным. Предположительно его относят к сборной группе «Sphinctozoans», которая до открытия *V. crypta* считалась вымершей в мелу. Семейства губок, приуроченные к пещерам или менее крупным убежищам — Petrobionidae, Lepidoleuconidae, Lelapiellidae, Murrayonidae, Paramurrayonidae, содержат по одному виду и относятся к отрядам, состоящим преимущественно из монотипических и четко обособленных друг от друга родов. Возможно, это свидетельствует о большом возрасте отрядов и сохранении до настоящего времени лишь немногих из существовавших эволюционных линий.



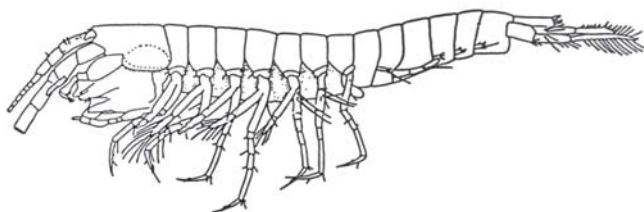
Пример широкого распространения облигатного таксона с большими разрывами — места обитания ракообразных класса Remipedia. Внизу — прорисовка *Speleonectes gironensis* [14], длина тела 14 мм.

Биогеография

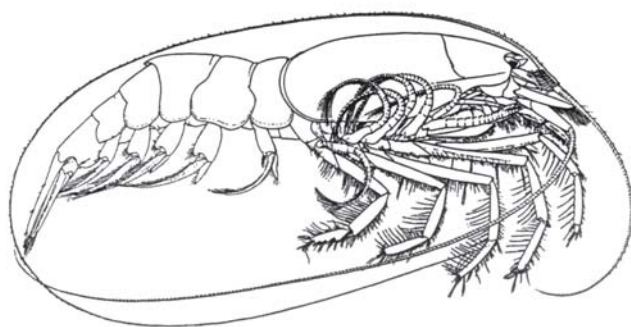
С биогеографической точки зрения морская стигобионтная фауна по аналогии характера распространения может быть отнесена к так называемым островным фаунам. Островной считают фауну четко обособленного биотопа, отдельные участки которого разнесены на значительное (в географическом масштабе) расстояние друг от друга. Кроме фаун океанических островов и пещер, к этой группе относят также фауны океанических желобов, вершин подводных гор, гидротермальных и сиповых полей. Распространение стигофауны (как и других островных фаун) характеризуется локальным (точечным в масштабе океанов) распространением многих видов и родов, громадными разрывами ареалов широко распространенных таксонов, высокой степенью эндемизма фауны небольших и удаленных друг от друга районов. Биогеографическая литература по островной фауне изобилует гипотезами и положениями, взаимно ис-

ключающими друг друга. Противоположные точки зрения существуют о биогеографическом статусе островных районов, о природе контролирующих факторов, о времени, способах и путях расселения таксонов.

Ареалы многих стигобионтных таксонов обращают на себя внимание тем, что включают мелководные пещеры и глубоководные районы [11]. Например, род остракод *Danielopolina* содержит более десяти видов, один из них обнаружен в центральной части Атлантики на глубине 3459 м, остальные обитают в мелководных пещерах. В состав упоминавшегося ранее отряда Mictasea входят два семейства [7]; единственный представитель Mictocarididae обитает в бермудских пещерах, а два вида Hirsutiidae — на глубинах 1000–1500 м. В фауне пещер тихоокеанских островов Рюкю двусторчатые моллюски 10 родов из 36 проявляют четко выраженное родство с глубоководными видами [4]. Одна из средиземноморских пещер, расположенная у берега Франции



Пример родства с глубоководной фауной — распространение перакаридных ракообразных отряда Mictacea. Кружками отмечены места нахождения в анхиалинном водоеме, треугольниками — глубоководные находения. Изображение *Mictocaris halope* [7], длина тела 3.5 мм.



Пример широкого разрыва между близкородственными стигобитными видами — распространение креветок семейства Procarididae. Изображение *Procaris ascensionis* [9], длина тела 20 мм.

на глубинах 18—24 м, населена глубоководными, стеклянными и кладоризидными губками. Отличия этой пещерной фауны от обычной мелководной настолько существенны, что ее стали называть батимальным островом [12].

Разрывы ареалов стигобитных таксонов в тысячи километров обычно объясняют расхождением континентов в мезозое. Тем самым предполагается, что многие стигобитные таксоны — реликты древнего моря Тетис, а пещерные водоемы служат для них рефугиумом [11]. На древний возраст некоторых стигобитных таксонов указывает также их примитивная морфология и наличие близких форм в мезозое. Например, морские пещеры могли послужить рефугиумом для современных представителей целакантообразных кистеперых рыб, известных от девона до верхнего мела. Один представитель этой группы, *Latimeria chalumnae* — крупная и медленно передвигающаяся (около 3 м/мин) рыба проводит за пределами пещеры только ночное время, в среднем девять часов в сутки, она встречается у берегов Юго-Восточной Африки, на юго-западе о.Мадагаскар и у Коморских о-вов. Другой представитель этого рода, *L.menadoensis* обнаружен в 1998 г. на севере о.Сулавеси (Индонезия).

Эта распространенная гипотеза не согласуется с другими известными фактами: многие хорошо изолированные пещеры сформировались относительно недавно, а встреченные на большом расстоянии друг от друга виды одного и того же облигатного рода часто почти неразличимы. Так, в анхиалинном водоеме лавовой трубы Джамеос на острове Лансароте (Канарские о-ва) обнаружена фауна с высокой степенью облигатности и эндемизма, которая появилась сравнительно недавно (в голоцене, 5—3 тыс. лет назад). Другой пример — анхиалинные креветки облигатного

надсемейства Procaridoidea. Предполагается, что они проникли на центрально-океанический о. Вознесения еще в мезозое, когда Атлантический океан был узким, и существовал подводный хребет, соединяющий остров с континентами [9]. Но о. Вознесения сформировался в позднем плиоцене или в плейстоцене (1–2 млн лет назад), анхиалинные пулы на острове существуют еще более короткое время. При этом креветки с о. Вознесения *P. ascensionis* с трудом отличимы от другого представителя рода — *P. hawaiiiana* — обитающего на Гавайских о-вах в центральной части Тихого океана. Губка *Paramurrayona corticata* — неперменный обитатель морских пещер и мелких полостей — встречена также у Мадагаскара (Индийский океан), Новой Каледонии (Тихий океан) и Ямайки (Атлантический океан). Извержение вулкана на о. Кахоолаве (Гавай-

ские о-ва) в 1965 г. дало возможность оценить скорость заселения вновь образовавшегося анхиалинного водоема. Несмотря на свою пространственную (50 м от берега) и экологическую изолированность, новый пул был заселен облигатными анхиалинными креветками *Halocaridina rubra* через 32 года [13]. Все эти как и многие другие данные свидетельствуют о молодом возрасте современных облигатных видов и о высоких темпах расселения стигобионтной фауны.

При попытке выявить роль планктонных личинок в расселении пещерной и других островных фаун биогеографы наталкиваются на парадоксальную ситуацию. Для фауны далеко отстоящих друг от друга пещерных биотопов можно было ожидать большой процент видов с долго живущей планктонной личинкой, позволяющей преодолеть большие открытые

пространства. Однако в пещерной фауне доля видов с лецитотрофным типом развития больше, чем в фауне открытых биотопов. Пока не удастся объяснить, каким способом стигобитные виды достигают столь широкого распространения. Большую роль при расселении стигобитных таксонов, возможно, играют биотопы, близкие по условиям обитания к пещерным (расщелины и навесы в скалах, скрытые пространства в коралловых рифах), которые могут служить «перевалочными пунктами».

Авторы благодарят А.Н. Заренкову, Е.М. Крылову и К.Р. Табачника, В.О. Мокиевского и О.Е. Каменскую, Н.В. Пиленову, А.Ю. Леин и Т.Н. Молодцову.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-04-48056.

Литература

1. Бирштейн Я.А. // Успехи современной биологии. 1940. Т.13. Вып.3. С.385–402.
2. Бирштейн Я.А. Пещерная фауна // Генезис пресноводной пещерной и глубоководной фаун. М., 1985. С.56–75.
3. Dudich E. // Spelaeol. Jb. 1933. V.13/14. P.51–65.
4. Hayami I., Kase T. // The University Museum, The University of Tokyo. 1993. Bull.35. P.1–133.
5. Биология гидротермальных сообществ / Ред. А.В. Гебрук. М., 2002.
6. Yager J., Carpenter, J.H. // Crustaceana. 1999. V.2. №8. P.965–977.
7. Bowman T.E. Mictacea. // Encyclopaedia Biospeologica / Eds Ch.Juberthie, V.Decu. Moulis; Bucarest, 1994. V.1. P.121–122.
8. Poore C.B., Humpbreds W.F. // Invertebrate Taxonomy. 1992. V.6. P.719–725.
9. Chace F.A., Manning R.B. // Smithsonian Contributions to Zoology. 1972. V.131. P.1–18.
10. Vacelet J., Perez T. // Zoosystema. 1998. V.20. №1. P.5–22.
11. Hart C.W.J., Manning R.B., Iliffe T.M. // Proc. Biol. Soc. Wash. 1985. V.98. №1. P.288–292.
12. Vacelet J., Boury-Esnault N., Harmelin J.-G. // Deep-Sea Research. 1994. V.41. №7. P.965–973.
13. Brock R.E., Bailey-Brock J.H. // International Review of Hydrobiology. 1998. V.83. №1. P.65–75.
14. Yager J. // Journ. Crust. Biol. 1994. V.14. №4. P.752–762.

Температурные границы жизни

Н.Д.Озернюк

Способность приспосабливаться к меняющимся условиям среды — одна из важнейших особенностей живых существ. Их распространение, численность и биоразнообразие в значительной мере определяются эффективностью адаптационных механизмов. Именно они позволяют организмам существовать в условиях, часто малопригодных для жизни, а иногда несовместимых, на первый взгляд, с нею.

Об уникальных адаптационных ресурсах организмов свидетельствует наличие жизни в самых невероятных условиях: на дне океана, на глубине 10 км под прессом огромного давления, и на высоте 12 км над уровнем моря, в крайне разреженной атмосфере. Некоторые бактерии и зеленые водоросли обитают в среде, соленость которой соответствует насыщенному раствору NaCl. Еще один удивительный пример адаптации — организмы, живущие в условиях экстремальных температур: одни виды — при температуре -50°C , другие — при $+110^{\circ}\text{C}$. Уникальная категория таких организмов названа экстремофилами [1].

Из всего многообразия адаптаций к отдельным экологическим факторам (температуре, со-



Николай Дмитриевич Озернюк, доктор биологических наук, заместитель директора, заведующий лабораторией биофизики развития Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН. Лауреат премии им.А.О.Ковалевского РАН (2000). Основные научные интересы связаны с изучением общих закономерностей онтогенеза и механизмов адаптации.

держанию кислорода в среде, солености воды, освещенности, влажности) или к иным типам природной среды (высокогорью, морским глубинам, жизни в пещерах, в пустынях и др.) особенно интересны температурные. Ведь этот фактор воздействует на все живые существа; окружающая температура постоянно меняется, ее перепады в определенных районах бывают весьма значительными, и организмы, в особенности холоднокровные, должны к этому приспосабливаться. Жизнь при экстремальных температурах привела к формированию адаптационных механизмов, которые значи-

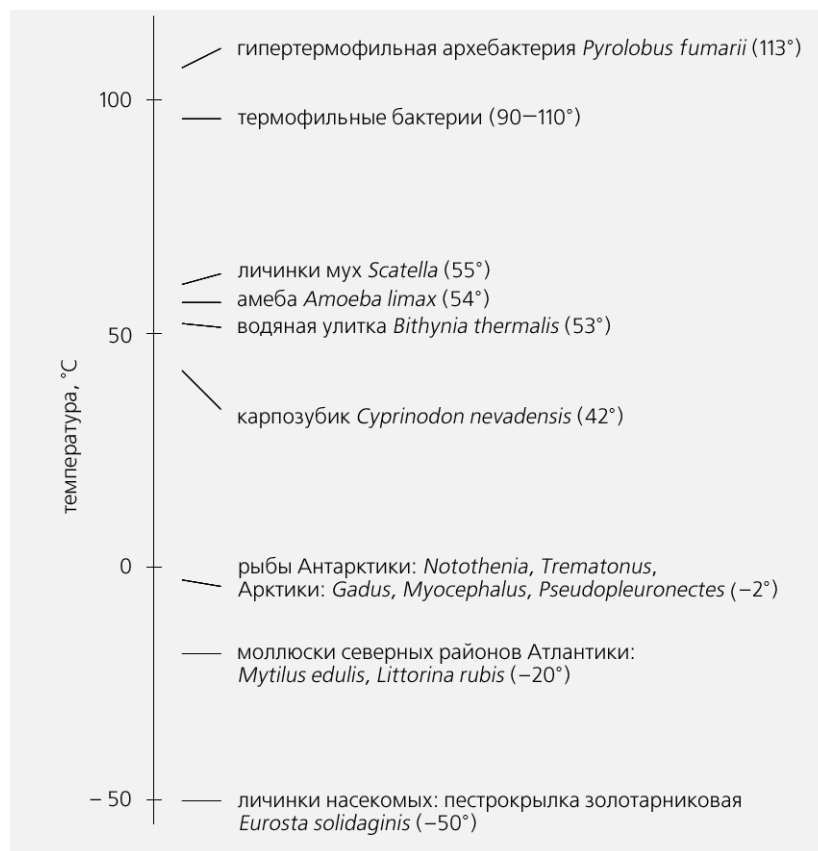
тельно расширили ее «температурные пределы» и позволили отдельным видам занять экологические ниши, практически непригодные для существования. Эти механизмы не позволяют кристаллам льда образовываться в теле личинок насекомых и разрушать их при -50°C . Напротив, термофильные бактерии — обитатели гидротермальных источников — живут при $+110^{\circ}\text{C}$ и их белки при этом не денатурируют. Вместе с тем температура среды — один из важных факторов, влияющих на распределение, численность и разнообразие видов в различных климатических зонах Земли.

Биоразнообразие и распространение видов

Известно, что разнообразие и суммарная численность организмов снижается от экватора к полюсам. Эта зависимость установлена для многих видов. Ее можно проиллюстрировать на примере рыб, населяющих крупные озера, реки и моря в разных широтах. По данным, собранным Е.К.Суворовым, А.П.Андряшевым и Г.В.Никольским, в тропических озерах Виктория, Танганьика и Ньяса обитает 180, 214 и 250 видов рыб соответственно, а в северных озерах Онежском и Ладожском — 39 и 44. В южных морях Средиземном и Японском насчитывается примерно 500 и 600 видов рыб, тогда как в арктических Карском, Чукотском и море Лаптевых — 61, 38 и 31. Наиболее богатый видовой состав рыб в тропических реках: Амазонке — 1300 видов, Конго — 560, а в Волге и Оби их только 77 и 47.

Один из важнейших факторов, определяющих такую зависимость, — температура среды. Конечно, температура влияет на биоту вместе с другими биотическими и абиотическими факторами, в том числе и климатическими. Неблагоприятные температуры сказываются на разнообразии и распространении видов как непосредственно, влияя на размножение или развитие организмов, так и опосредованно, например воздействуя на их кормовую базу. Между границей ареала того или иного вида и изотермой имеется достаточно тесное соответствие. Распространение видов в различных климатических зонах ограничивается чаще всего не летальными и сублетальными температурами.

Какие стадии онтогенеза наиболее уязвимы при действии неблагоприятных температур? Самый чувствительный — период размножения, в котором отрицательный эффект проявля-



Температурные границы существования некоторых организмов.

Таблица

Влияние неблагоприятных температур на разные стадии онтогенеза животных

Стадии онтогенеза	Низкие температуры	Высокие температуры
Остановка созревания гамет	+	не изучалась
Снижение эффективности оплодотворения	+	+
Повреждение зародышей на стадии гастрюляции или вылупления из оболочек	+	+
Ингибирование расхождения хромосом при делении клеток	+	не изучалась
Торможение синтеза белка	+	
Торможение и остановка роста	+	

ется на клеточном и тканевом уровнях. Так, пониженные температуры останавливают созревание гамет и снижают эффективность оплодотворения (табл.). Взрослые же особи способны выживать в наиболее широком диапазоне. Это обеспечивается наличием сформированных эффективных регуляторных механизмов (нервных и эндокринных), которые контро-

лируют защиту от неблагоприятных температур. Эмбриогенез занимает промежуточное положение. Здесь из-за активного роста клеток быстро реализуются все возможные нарушения. В частности, низкие температуры ингибируют расхождение хромосом при делении клеток. Наиболее чувствительны гастрюляция и вылупление зародышей из оболочек.

НИЗКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ	ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ	ВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
↓		↓
замены аминокислот, ведущие к увеличению гибкости белков		замены аминокислот, ведущие к уменьшению гибкости белков
уменьшение вязкости липидов		увеличение вязкости липидов
биологические антифризы		защита аппарата синтеза белка полиаминами
компенсация уровня дыхания		увеличение ГЦ-пар в тРНК
и массы митохондрий		
понижение энергии активации ферментов		синтез белков теплового шока

Основные механизмы адаптаций к низким и высоким температурам среды.

Разные организмы отличаются устойчивостью к перепадам температур. Большинство видов (эвритермные) легко переносят такие колебания. Они заселяют территории с большим диапазоном суточных и сезонных температурных колебаний. Другие виды (стенотермные) способны существовать лишь в узком диапазоне. К ним относятся обитатели влажных тропических лесов, морских глубин, пещер, а также жители высоких широт, где температура среды почти не меняется.

Механизмы температурных адаптаций

Какие механизмы лежат в основе приспособлений организма или отдельных его систем к неблагоприятным температурам? На молекулярном уровне они связаны с важнейшими внутриклеточными структурами и процессами. Речь идет об устойчивости белков и нуклеиновых кислот к экстремальным температурам, поддержании определенного агрегатного состояния биологических мембран, в первую очередь мембранных липидов, накоплении специфических соединений, предотвращающих образование

кристаллов льда в клетках при отрицательных температурах, и др. [2, 3].

Разнообразные приспособления на всех уровнях организации живого — от молекулярного до экосистемного — формируются при помощи генотипического и фенотипического механизмов, которые обычно тесно переплетены. Генотипические адаптации складываются на протяжении множества поколений и связаны с естественным отбором — они «записаны» в геноме.

В ходе эволюции наиболее серьезная защита возникла от холода, поскольку даже небольшие отрицательные температуры могут губительно сказаться на организме животного. Основные механизмы адаптации обусловлены действием биологических антифризов, поддержанием определенного агрегатного состояния мембранных липидов, а также мутациями, приводящими к аминокислотным заменам, которые обеспечивают необходимую гибкость белков.

Биологические антифризы. Устойчивость к низким температурам холоднокровных животных полярных областей определяется несколькими механизмами. У обитателей этих районов в биологических жидкостях (крови и лимфе) присутствуют

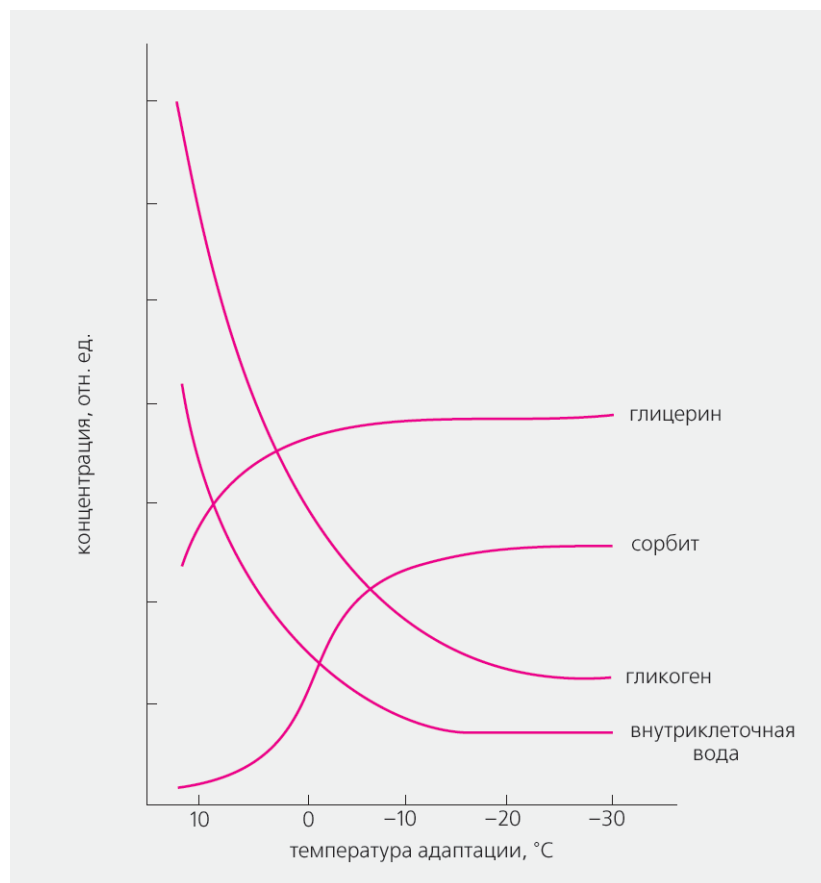
биологические антифризы — пептиды и гликопротеины, препятствующие замерзанию воды в клетках. Кроме того, устойчивость к холоду обеспечивают многоатомные спирты — глицерин и сорбит. Если пептиды и гликопротеины останавливают рост микрокристаллов льда в клетках, то глицерин заменяет воду, которая при понижении температуры выводится во внеклеточную среду, где лед менее опасен. Глицерин, в частности, способствует стабилизации структуры белков и биологических мембран. Так, в теле моллюска *Mytilus edulis*, жителя литоральной зоны северной части Атлантического океана, при температуре до -20°C замерзает примерно 70% воды. Но, поскольку это внеклеточная вода, животные не погибают. У большинства морских животных в снижении температуры замерзания жидкостей участвуют присутствующие в крови глюкоза, аминокислоты и соли (прежде всего NaCl). Чем больше этих молекул в растворе, тем меньше у воды возможностей формировать кристаллы льда. Такой механизм называется коллигативным (заместительным).

Высокомолекулярные антифризы адсорбируются на образовавшихся мельчайших (и поэтому не опасных) внутриклеточных кристаллах льда, не давая им расти. Это очень эффективные криопротекторы: так, гликопротеины тормозят замерзание жидкостей в 200—300 раз сильнее, чем вещества, обладающие коллигативным механизмом действия. Высокомолекулярные антифризы составляют значительную часть от веса всех жидкостей, и в их присутствии температура замерзания раствора ниже, чем температура таяния. У антарктических рыб антифризы постоянно присутствуют в жидкостях тела (3.5% от веса всех биологических жидкостей), что определяется генотипическими механизмами. У других организмов они образуются в зависимости от сезон-

ных колебаний температуры окружающей среды (фенотипическая адаптация). Синтез антифризов регулируется как экзогенно (при участии температуры среды и длительности светового дня), так и эндогенно (контролируется гипофизом).

Агрегатное состояние мембранных липидов. Интенсивность обмена веществ связана с клеточными мембранами, состояние которых зависит от мембранных липидов. Степень их вязкости определяет работу мембранных ферментов, транспорт ионов, синаптическую передачу и другие процессы. Липидный бислой обычно находится в жидкокристаллическом состоянии. Но при понижении температуры мембраны «затвердевают», и большинство мембранных процессов замедляется. Необходимая степень вязкости мембран при низких температурах поддерживается за счет изменения соотношения липидных компонентов мембран — насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в сторону последних (они делают липидный бислой более рыхлым). Соотношение этих двух типов жирных кислот может меняться в ходе синтеза и включения в молекулы фосфолипидов, а также за счет изменения числа двойных связей. Кроме того, насыщенные жирные кислоты могут превращаться в ненасыщенные при помощи фермента десатуразы, который активируется изменением температуры. У рыб, обитающих в холодных водах, ненасыщенных жирных кислот больше, чем у жителей умеренных и тропических широт. Это позволяет метаболическим системам животных Арктики и Антарктики нормально функционировать.

Аминокислотные замены. Серьезная проблема для обмена веществ у холоднокровных животных при низких температурах — снижение конформационной гибкости белков, существенно затрудняющее их функции. Поддержание определенной гибкости молекул достига-



Изменение содержания различных веществ в теле личинок насекомых при различных температурах адаптации в течение нескольких недель в лабораторных условиях.

ется благодаря мутациям, вызывающим аминокислотные замены в белках животных, которые обитают в высоких широтах. Характер таких замен детально изучен на примере фермента лактатдегидрогеназы. При сравнении аминокислотных последовательностей этого белка, выделенного из скелетных мышц нототениевых рыб Антарктики и Южной Америки, было установлено, что замены локализованы в одной из α -спиралей, формирующих активный центр фермента. У большинства рыб умеренных широт в начале этой α -спирали находится остаток пролина, создающий определенную «жесткость» данному участку. У нототениевых рыб Антарктики пролин заменен на аланин, что обеспечило более

гибкую структуру активному центру лактатдегидрогеназы, столь необходимую при пониженной температуре. Это только один из многих примеров генотипических адаптаций.

Компенсация энергетического обмена. Еще одно важное приспособление к холоду связано с компенсацией уровня энергетического метаболизма у холоднокровных. Так, в мышцах у полярных рыб концентрация митохондрий выше, чем у тех же видов или их близких родственников из умеренных или тропических широт. Как следствие этих различий, интенсивность дыхания полярных организмов выше по сравнению с обитателями умеренного пояса при расчете на одинаковую температуру, обычно 20°C. Дру-

гой тип компенсации метаболизма — более низкий энергетический барьер ферментативных реакций в тканях полярных животных, чем обитателей умеренного пояса.

Температурные границы жизни

Вернемся к примерам предельной устойчивости организмов к низким температурам среды. Так, феноменальной приспособленностью отличаются личинки золотарниковой пестрокрылки *Eurosta solidaginis*, зимующие в галлах на стеблях золотарника [4]. Располагаются они выше снежного покрова, а зимняя температура в местах их обитания -40° или даже -50°C . Насекомые в это время находятся в состоянии диапаузы, когда уровень обмена веществ, в том числе энергетический, резко снижен. До наступления холодов в теле личинок интенсивно синтезируется глицерин и сорбит, комбинированное действие которых и позволяет им перезимовать. Как уже отмечалось, глицерин заменяет воду, которая в больших количествах выводится из организма, а сорбит защищает ткани личинки по коллигативному механизму.

Не менее впечатляют термофильные бактерии, живущие при $+113^{\circ}\text{C}$. Такая термоустойчивость характерна для археобактерии *Pyrolobus funarii* [5]. Сверхстабильная структура белков гипертермофильных бактерий (*Thermotoga maritima* и *Pyrodictium occultum*) обеспечивается аминокислотными заменами, в результате которых возникают новые внутримолекулярные взаимодействия (водородные связи, гидрофобные и ионные взаимодействия, солевые мостики). Таким образом, сверхстабильность белков определяется их первичной структурой, которая сформировалась на протяжении длительной адаптации к предельно высоким температурам. В качестве примера эффективности подобных механизмов можно привести фермент из гипертермофильных бактерий — амилопуллолазу, которая сохраняет активность при $+132^{\circ}\text{C}$ [6].

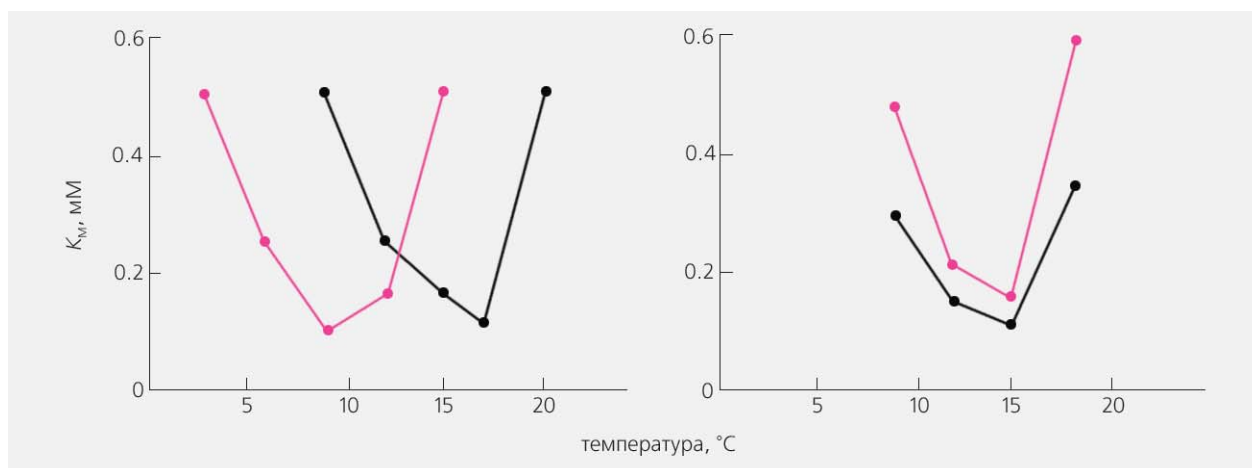
Термофильных бактерий от предельно высоких температур защищают также полиамины, стабилизирующие не только белки, но и их комплексы, в частности, бактериальный аппарат трансляции. Устойчивость термофилов связана не только с белками, но и нуклеиновыми кислотами, в особенности

с тРНК. Известно, что пара оснований в РНК гуанин—цитозин более стабильна, чем пара аденин—уридин. У термофильных бактерий содержание гуанина и цитозина в тРНК выше, чем у мезофильных бактерий.

Фенотипические адаптации

При сезонных или более кратковременных (несколько недель) колебаниях температуры адаптационные механизмы имеют фенотипическую природу, они формируются на протяжении одного поколения, обратимы и «не записаны» в геноме. В этих случаях холоднокровные животные вынуждены приспосабливать свой метаболизм к новому температурному режиму.

Один из механизмов таких фенотипических адаптаций — синтез индуцированных температурой изоформ тех или иных ферментов, которые больше приспособлены к новым условиям. Например, в мозге радужной форели, находящейся в течение трех недель при низкой температуре, синтезируется специфическая «холодовая» изоформа ацетилхолинэстеразы. Образование индуцирован-



Температурная зависимость константы Михаэлиса (K_M) для лактатдегидрогеназы из мышц бьюнов, адаптированных к 5°C (цветная кривая) и к 18°C . Различное положение минимумов K_M (справа) исчезает после воздействия 3 М раствора мочевины.

ных температурой изоформ эстераз показано также у других видов рыб. Однако такая индукция достаточно редкое событие.

Другой механизм связан с изменением функциональных свойств ферментов без изменения их изоформ. Так, в нашей лаборатории в Институте биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН было обнаружено, что у рыб [7, 8] при адаптациях к низким и высоким температурам в течение нескольких недель меняются функциональные свойства ферментов. На примере лактатдегидрогеназы из скелетных мышц вьюна показано, что величина константы Михаэлиса (K_m), по которой можно судить о сродстве фермента с субстратом, зависит от ряда факторов, в том числе и от температуры: при оптимальной — K_m минимальна (т.е. фермент-субстратное сродство максимально), значит, фермент функционирует наиболее эффективно. У рыб, адаптированных к холодной воде, фермент-субстратное сродство максимально при низкой температуре. У рыб, помещенных в теплую воду, в течение двух-трех недель оптимум фермента постепенно смещается в сторону высокой температуры. Это говорит о том, что за данный срок фермент перестраивается на работу в новых условиях.

Итак, лактатдегидрогеназы из мышц вьюнов, живущих в холодной и теплой водах, отличаются по многим свойствам. «Холодная» форма фермента более стабильна по сравнению с «теплой» при воздействии разных факторов (рН, температуры, мочевины), но ни в том, ни в другом случае новые изоформы не синтезируются. Оказалось, что выявленные различия не связаны ни с взаимодействием фермента с лигандами, ни с его модификациями (чаще всего фосфорилированием). Однако самым поразительным было то, что после воздействия на обе формы мочевины различия исчезали. Поскольку мочевина как денатурирующий агент действует на водородные связи, а также на гидрофобные и гидрофильные взаимодействия в молекуле белка, можно полагать, что у «холодной» и «теплой» форм эти связи и взаимодействия отличаются.

Как можно объяснить такие необычные результаты? Вероятно, в мышцах рыб при низких и высоких температурах синтезируются формы лактатдегидрогеназы с несколько отличной пространственной структурой, поскольку их сборка происходит в разных условиях [9]. Речь может идти, в частности, о разном количестве водородных связей в двух формах фермента.

Такое предположение подтверждают не только наши эксперименты, но и данные П.Л.Привалова, согласно которым при разных температурах (в их физиологическом диапазоне) количество водородных связей в белках отличается. Однако показать экспериментально наличие столь малых конформационных различий двух форм фермента пока крайне трудно.

Параллельно в нашей лаборатории продолжалась работа по анализу структуры генов лактатдегидрогеназы из мышц рыб, адаптированных к низкой и высокой температурам. Первоначально полагали, что их структура идентична. Однако при более детальном изучении выявились определенные различия в регуляторной части мРНК одной из форм фермента [10]. Возможно, что именно они и ответственны за сборку фермента.

Таким образом, изучение молекулярной природы фенотипических температурных адаптаций открывает новые механизмы и ставит новые вопросы. Это не удивительно, поскольку эффективные приспособления к различным природным факторам всегда носят комплексный характер и в их формировании участвуют различные внутриклеточные регуляторные механизмы. ■

Литература

1. Rothschild L.J., Mancinelli R.L. // Nature. 2001. V.409. P.1092—1101.
2. Александров В.Я. Реактивность клеток и белки. Л., 1985.
3. Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. М., 1988.
4. Storey K.B. et al. // J. Comp. Physiol. 1981. V.144. P.183—190.
5. Blochl E. et al. // Extremophiles. 1997. V.1. P.14—21.
6. Schulliger J.W. et al. // Mol. Mar. Biol. Biotech. 1993. V.2. P.76—87.
7. Клячко О.С. и др. // Биофизика. 1993. Т.28. С.596—601.
8. Озернюк Н.Д. Температурные адаптации. М., 2000.
9. Ozernyuk N.D. et al. // Comp. Biochem. Physiol. 1994. V.107B. P.141—145.
10. Смирнова Ю.А. и др. // Изв. РАН. Серия биол. 2002. №3.

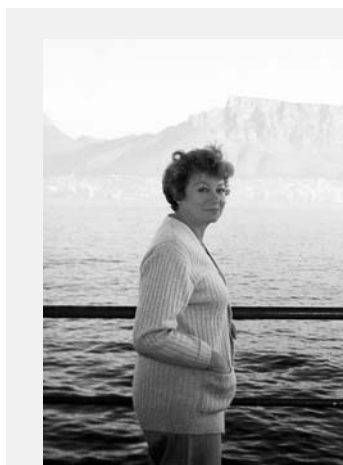
Углеводороды снежно-ледяного покрова высокоширотных акваторий

Вести из экспедиций

И.А.Немировская

В 1998, 2000 и 2001 гг. в Арктике и Антарктике проводились работы на научно-экспедиционном судне ледового класса «Академик Федоров». Сотрудники Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Института Арктики и Антарктики и представители других научно-исследовательских организаций Академии наук изучали снежно-ледяной покров севернее 80°с.ш. и южнее 65°ю.ш. В задачу нашей небольшой группы входило установление характера и концентраций углеводородов. Данные по распределению углеводородов в этих удаленных от антропогенной деятельности районах получены главным образом в модельных экспериментах и при искусственных нефтяных разливах [1]. Такие исследования, проведенные в летне-осенний период, можно назвать пионерными. Раньше основное внимание уделялось механическим свойствам льда и гидрометеорологическому обеспечению трассы Севморпути.

Углеводороды нефтей и нефтепродуктов относятся к наиболее распространенным вредным загрязняющим веществам гидросферы. Центр тяжести работ нефтегазового комплекса все дальше перемещается в высокие широты. Происходит ос-



Инна Абрамовна Немировская, доктор геолого-минералогических наук, заведующая аналитической лабораторией Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — различные углеводородные классы природного и антропогенного происхождения в океане.

воение месторождений в Северном, Баренцевом, Печорском морях, море Бофорта, в водосборах рек Западной Сибири и др. По предварительным данным, в недрах арктического шельфа сосредоточено, как минимум, 113 млрд т запасов углеводородного топлива. Основная часть залежей находится в российском секторе.

Геологические исследования позволяют выделить нефтегазоносные районы и в Антарктиде. В западной части — это бассейны морей Уэдделла, Росса, Бел-

линсгаузена и Амундсена; в восточной — бассейны Земли Виктории, Земли Уилкса, залива Прюдс. Суммарные ресурсы здесь оцениваются в 8 млрд т нефти, 6 трлн м³ газа.

Природная среда в высокоширотных областях более всего страдает от нефтяных разливов. Вследствие экстремальных условий — низких температур, ледяного покрова, полярной ночи — меры по предотвращению таких катастроф и борьбе с ними затруднены. Свой вклад в накопление загрязняющих углеводоро-

дов вносят сбросы с морских судов, сжигание ископаемого топлива, дальний атмосферный перенос, естественное высачивание нефти, а также водо- и ледообмен с сопредельными акваториями. Кроме того, в этих условиях снижается самоочищающая способность морской среды, а растениям и животным требуется больше времени для восстановления [1].

Однако анализ содержания углеводородов в арктических средах показал, что их концентрации, связанные с антропогенной деятельностью, сравнительно низки. Исключение составляли аварийные или регламентные сбросы (например, прорыв Усинского нефтепровода, авария танкера «Престиж» и др.), а также промышленные районы, военные объекты. Во многих случаях скорость естественного очищения от загрязняющих веществ оказывается больше, чем скорость их накопления. Так, окисляющая активность микрофлоры усиливается во время нефтяных разливов даже при низких температурах. Кроме того, установлено, что в экосистемах северных морей происходит интенсивное преобразование органического вещества. Какова же роль антропогенных и природных факторов в биоценозах полярных районов? Важность этой проблемы определяется и угрозой глобального изменения климата, так как углеводороды участвуют в круговороте органического углерода на Земле.

Природные и антропогенные углеводороды

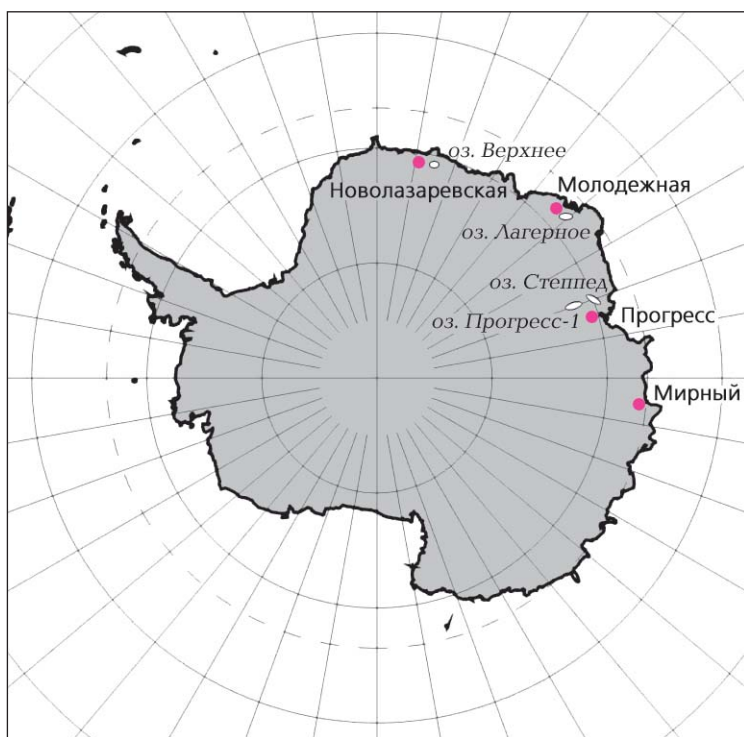
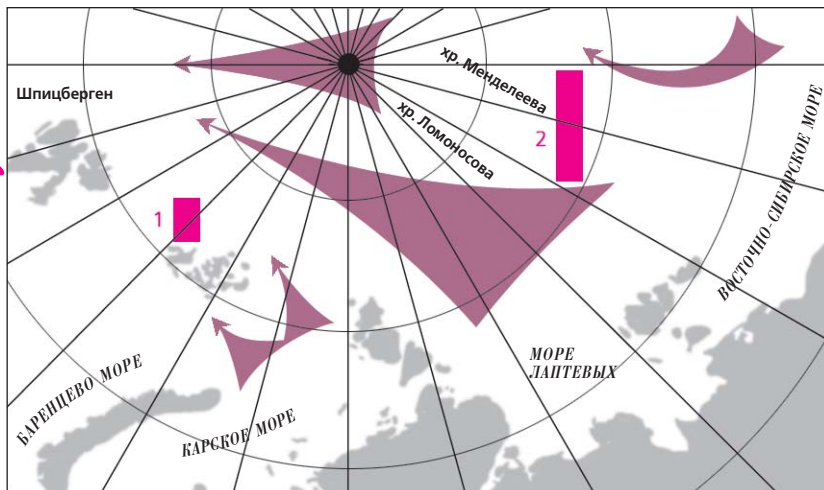
К основным источникам углеводородов относятся: современный биосинтез организмов; нефть и ее компоненты, поступающие из антропогенных (при выносе с суши и транспортировке) и природных (морские высачивания и эрозия) источников; пирогенные процессы [2].



Поступление в океан нефтяных углеводородов из различных источников.

Биогенные углеводороды входят в состав липидной фракции всех организмов, а также воды, взвеси и донных осадков, среди них различают первично-биогенные, которые синтезируются растениями, животными суши и океана, микроорганизмами, и вторично-биогенные, образующиеся из неуглеводородных соединений в толще воды (при седиментации) и в донных осадках (при диагенезе).

При биосинтезе происходит формирование в основном **алифатических углеводородов** (гомологов метана). Вопрос о биогенной природе наиболее устойчивого и токсичного класса ароматических углеводородов — **полиаренов** (гомологов бензола) — остается пока дискуссионным. Ранее считалось, что они в некоторых случаях синтезируются бактериями, водорослями и высшими растениями, но в по-



Расположение районов работ в Арктике (вверху) и Антарктике. 1 — в северной части Баренцева моря (район жёлоба Франц-Виктория), 2 — в Северном Ледовитом океане (район хребта Менделеева). Стрелками показан дрейф льдов.

следние годы принято, что значительные их количества, обнаруженные в наземных растениях, обусловлены поступлением из воздуха (т.е. основной источник полиаренов — атмосфера).

Живое вещество суши генерирует ежегодно 100 млн т углеводов, а в Мировом океане

путем фотосинтеза продуцируется 12 млн т.

Нефтяные углеводороды. Состав нефти зависит от особенностей данного месторождения. Однако в нем всегда преобладают углеводороды (от 50 до 98%). Количество нефтяных углеводородов, поступающих в морскую

среду, по экспертным оценкам разных авторов, составляет от 1.7 до 8.6 млн т в год [2]. Такой разброс объясняется трудностями учета огромного количества природных и антропогенных источников (особенно атмосферных поступлений и речного стока). В результате действия международных конвенций, а также уменьшения сбросов с судов промысловых и балластных вод (с 1.42 млн т в 1981 г. до 0.56 млн т в 1989 г.) загрязняющие антропогенные потоки нефтяных углеводородов в последнее время оцениваются в 2.35 млн т в год. Ежегодные их поступления сильно зависят от аварийных разливов. Хотя на долю последних приходится в среднем всего 6%, экстраординарные события могут значительно изменять эту цифру. В частности, в результате Ирано-Иракской войны 1983—1988 гг., когда в Персидский залив было слито до 1 млн т нефти, а в атмосферу поступило около 70 млн т нефтепродуктов, доля «аварийных» углеводородов превысила среднюю величину поступлений от всех нефтяных источников. Реальное загрязнение бассейна Печоры и Печорской губы в 1984 г. связано с аварийным разливом 100 тыс. т нефти на территории Республики Коми. Эти примеры объясняют скачкообразный характер уровня углеводородов, поступающих в результате аварий. Тем не менее общая тенденция уменьшения поступлений нефтяных углеводородов, связанных с аварийными разливами с танкеров, сохраняется.

Анализ источников нефтяных загрязняющих веществ показал, что основная их масса (более 50%) попадает в морскую среду при безаварийных условиях — вследствие несовершенства современных технологий добычи, транспортировки и переработки нефти, а также с бытовыми и промышленными стоками. Причем в последние годы доля их возросла. Из 2.35 млн т ежегодно поступающих в Мировой океан нефтяных продуктов

60% (1.4 млн т) приносится с суши от муниципальных и промышленных объектов (в том числе 365 тыс. т из атмосферы); 14.5% (340 тыс. т) — от природных источников (они создают фоновый уровень для каждого конкретного района); 25.5% (600 тыс. т) приходится на морские источники (в том числе на аварии — 150 тыс. т).

Углеводороды продуктов горения. При горении материалов, содержащих углерод и водород, таких как нефть и нефтепродукты, уголь, древесина, бумага и др., образуется смесь углеводородов, в которой доминируют полиарены. При относительно высоких температурах (650—690°C) появляются преимущественно периконденсированные пирены, бенз- и индопирены. Наиболее токсичный из них бенз(а)пирен выбран в качестве индикатора загрязнения природных сред так называемыми антропогенными полиаренами. При низких температурах образуются природные полиарены — фенантрены, хризены, пицены. За последние 100 лет содержание пирогенных углеводородов в почвах промышленных районов возросло в четыре раза за счет увеличения атмосферных периконденсированных веществ. Но если говорить о суммарном потоке полиаренов, то их поступление от природных пожаров почти в 10 раз превышает потоки из отопительных систем.

Подробная инвентаризация проведена для оценки содержания бенз(а)пирена в природной среде. (Конечно, для каждой конкретной страны эти соотношения могут существенно меняться.) Среднее его количество из всех источников составляет 5000 т в год. (При этом 73% приходится на промышленность и 27% — на все виды открытого сжигания, из них 61% — угля и лишь 0.09% и 0.06% — нефти и газа соответственно.) В последние годы произошло снижение эмиссии антропогенных углеводородов в основном за

счет мер, ограничивающих промышленные выбросы и особенно открытое сжигание, а также за счет уменьшения использования угля.

Таким образом, как показано выше, поток биогенных углеводородов значительно превышает количество углеводородов, поступающих в океан из антропогенных источников. Поэтому распределение антропогенных углеводородов происходит на устойчивом природном фоне. Биогенные углеводороды медленно синтезируются на огромных площадях, и скорость их образования соответствует скорости утилизации. Из-за сбалансированности процесса алифатические и ароматические соединения не только не оказывают вредного воздействия на морскую среду, а наоборот, поддерживают ее стабильность за счет участия в сложных процессах регулирования морских экосистем. Напротив, антропогенные углеводороды поступают в короткий период времени в определенные районы, что неизбежно приводит к нарушению их естественного круговорота в океане.

К сожалению, до недавнего времени повышенные концентрации углеводородов однозначно связывали с антропогенным загрязнением, не определяя соотношение соединений различных групп. Поэтому установление современного биогенного фона, разделение природных и антропогенных компонентов — важнейшая задача как при решении теоретических вопросов круговорота органического вещества, так и при мониторинге нефтяного загрязнения.

Снег и лед

Снег и морской лед — важные агенты транспорта углеводородных соединений от побережья в открытый океан. выпадающие из атмосферы хлопья снега очищают ее от аэрозольного материала даже сильнее, чем дожди

[3]. Особенность Арктики состоит в том, что именно здесь происходит выход аэрозольного материала из верхних слоев атмосферы, в зоне глобальной конвергенции (на высотах около 20 км), его смешение с веществом тропосферы и опускание в приземные слои с развитой облачностью. Далее он попадает на поверхность суши и моря. Таким образом аэрозольные частицы дальнего переноса, содержащие как природные, так и антропогенные органические и неорганические компоненты, транспортируют их на поверхность океанской воды или ледового покрова. Вклад аэрозолей в формирование осадочного вещества в Арктике близок к вкладу речных осадков за пределами эстуариев рек и для пелагиали Северного Ледовитого океана составляет примерно 10% [4].

Еще одно отличие высокоширотных районов состоит в том, что большую часть года (а севернее 80°с.ш. практически круглый год) поверхность моря покрыта льдами, и аэрозоли выпадают на их поверхность, а в воду и донные осадки поступают только в местах массового таяния льдов в Северной Атлантике. Водная поверхность, обычно сама поставляющая в атмосферу значительное количество солей, в Центральной Арктике покрыта льдом и солей не поставляет. Но установлено, что именно в долгую зиму выпадает основное количество аэрозолей. В это время закрыты снегом и льдом все питающие бассейны на берегах Европы, Азии, Северной Америки. Поэтому максимум аэрозольного поступления зимой связан не с региональными, а очень дальними источниками. Распространение полярной мглы или дымки получило свое объяснение при изучении минерального и химического состава аэрозолей, которые происходят из аридных областей Европы, Африки и Азии [3].

При образовании кристаллики внутриводного льда также захватывают частицы взвеси из



Научно-экспедиционное судно
ледового класса
«Академик Федоров».
Здесь и далее фото автора

Высадка научной группы на лед.

водной толщии и переносят их к поверхности. Молодой лед в прибрежной зоне накапливает осадочный материал берегов, речного стока и донных отложений. Содержащиеся там органические компоненты природного и антропогенного происхождения транспортируются из областей внутреннего шельфа в открытый океан.

Льды обладают и каталитическими функциями. Вопреки установленному мнению многие биохимические процессы (окисление, гидролиз) в них не замедляются [3]. У крошки процесс фотосинтеза так резко возрастает, что становится взрывным. Особенно успешно биологическое сообщество развивается в грязном льду. В местах таяния происходит даже цветение водорослей. Взвешенное органическое вещество (в виде агрегатов — флоккул), находящееся на нижней поверхности льда, вовлекается в биологический круговорот. Большую роль в образовании и судьбе различных соединений здесь играет планктон. Фитопланктон превращает растворенные формы во взвесь, зоопланктон преобразует ее в крупные комки-пеллеты, быстро осаждающиеся на дно. Кроме того, при ледообразовании происходит выжимание рассолов. Более тяжелые соленые воды опускаются на глубину, увлекая за собой всевозможные загрязняющие вещества. Морской лед — это «фактор-диктатор среды полярных морей, и он определяет условия жизни и осадкообразования в ледовых зонах» [3].

Антарктический снежно-ледяной покров значительно отличается от арктического. В-первых, в прибрежных районах Антарктиды основной источник примесей в снеге — морские соли, поступающие из океанических вод, а также специфическая флора и микроорганизмы. Эоловый перенос терригенных углеводородов с американского и африканского континентов незначителен. Во-вторых, в отличие от Арктики, морские льды

как поставщики осадочного материала играют небольшую роль, так как области захвата вещества блокированы обрывами ледового щита. В-третьих, образование морских арктических льдов происходит из воды, и только снизу, а антарктических — снизу и сверху. Снос в океан большого количества снега приводит к формированию слоя толщиной до нескольких десятков сантиметров. Под действием ветра он либо сгоняется в открытое море, либо накапливается вблизи островов и в зонах скопления айсбергов. Так возникает припайный лед. Помимо того, прибрежные морские льды Антарктики образуются из воды, соленость которой равна или близка к океанической. В арктических же морях очень велико влияние речного стока, который зачастую и определяет строение и свойства ледяного покрова.

Исследования на полигонах

В Арктике мы изучали снежно-ледяной покров в районах желоба Франц-Виктория в северной части Баренцева моря и подводного хребта Менделеева в Северном Ледовитом океане (80—82° с.ш., 37—39° в.д.).

Район желоба Франц-Виктория только в короткое летнее время частично освобождается ото льда. Анализировался как однолетний лед (толщиной до 1.2 м), так и многолетний паковый (толщиной до 1.85 м).

Над хребтом Менделеева устойчивый сплошной ледяной покров сохраняется в течение всего года. На паковых льдах толщиной 1.8—2.5 м наблюдалось множество торосов, замерзших озер. Снежный покров состоял из свежеснежного и переметенного снега глубиной около 25 см.

В Антарктиде исследовали молодой (около одного месяца) припайный лед на станциях Прогресс и Мирный, лед на озе-

рах Верхнем (станция Новолазаревская), Лагерном (станция Молодежная), Прогресс-1 и Степед (станция Прогресс). А также на барьере в 70 км от станции Новолазаревской. Припай здесь образован в основном из водно-снежного льда и характеризуется высокой пористостью и соленостью, изотропной структурой и значительным содержанием рассола.

В арктическом снеге в районе хребта Менделеева (так называемом полюсе относительной недоступности Северного полушария) содержание углеводородов в два-три раза ниже фоновых концентраций в поверхностных водах (10—15 мкг/л для алифатических соединений и $5-8 \cdot 10^{-3}$ мкг/л для полиаренов). Нам пришлось концентрировать их из 10—15 л расплава.

В северной части Баренцева моря, где происходит разгрузка атмосферных потоков из Европы, количество углеводородов в снеге сопоставимо, а в отдельных случаях даже превышало их содержание в поверхностных морских водах (для алифатических углеводородов 17 мкг/л, для полиаренов $40 \cdot 10^{-3}$ мкг/л). Изотопные исследования подтвердили их преимущественно континентальное происхождение. В свежеснеговом снеге концентрации полиаренов в восемь раз больше фоновых. Вначале из атмосферы со снегом «вымывались» терригенные плохо растворимые высокомолекулярные алифатические углеводороды. Антропогенные (пирогенные) низкомолекулярные полиарены (в частности, пирен) поступали в растворенной форме [5].

В антарктическом снеге, собранном на припайном льду, содержание углеводородов еще ниже, чем в районе хребта Менделеева. Антарктическая атмосфера характеризуется крайне низким содержанием терригенного аэрозоля, и со снегом поступает незначительное количество углеводородов. Однако после сильного снегопада на стан-



В лаборатории на судне. Слева направо: С.Е.Кондрашов, А.С.Саввичев, И.А.Немировская, И.И.Русанов.



Обработка ледяного керна в судовой лаборатории.

ции Мирный их содержание в снеге возросло и превысило средние концентрации в поверхностных водах. Это объясняется тем, что здесь количество переносимого снега при скорости ветра 12–15 м/с составляет около 800 кг/(м·ч). При большой толщине снежно-ледовая масса опускается под воду (ее солесность в таких случаях составляет 28–30‰). В пограничном слое (между снегом и льдом), где температурные условия такие же, как в подледной морской воде, начинают размножаться диатомовые водоросли, синтезирующие углеводороды [6].

В снеге с поверхности озер в районе законсервированных станций содержание углеводородов также очень низкое. Особенности формирования и циркуля-

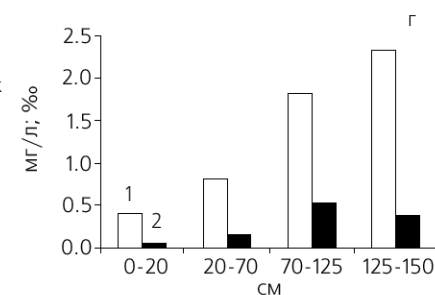
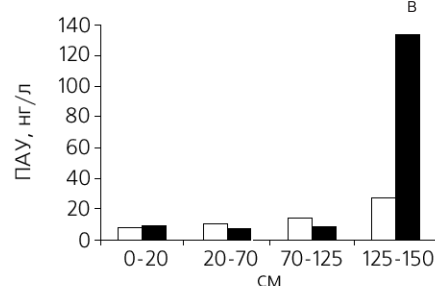
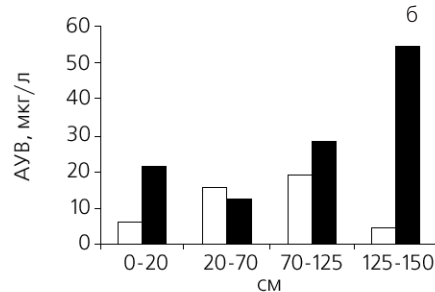
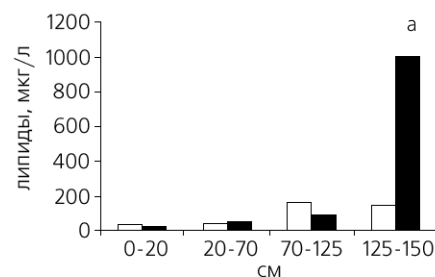
ции воздушных масс на Антарктическом ледовом щите таковы, что внутренние районы хорошо защищены от морских аэрозолей и континентальной пыли. Однако на действующей станции Новолазаревская (оз.Верхнее) количество углеводородов резко увеличилось, особенно для полиаренов. Несколько меньшее содержание углеводородов наблюдалось в снеге ледового барьера, в местах разгрузки оборудования на станции Новолазаревской. Снег здесь более кислый (рН = 4.95—4.97) по сравнению со снегом других озер (рН = 5.03—8.04), что также связано с загрязнением.

Во льдах распределение и концентрация углеводородов также сильно различались [5]. При формировании льда происходит перераспределение углеводородов между ним и водой, как при образовании пленки на границе вода—атмосфера. В таких пограничных слоях содержание практически всех веществ (взвеси, солей, микропланктона, бактерий) значительно выше, чем в поверхностных водах. Большая площадь поверхности делает лед эффективной ловушкой для переносимых воздухом соединений. Высокие концентрации углеводородов в снеге также способствуют их накоплению в верхних слоях льда. Все эти процессы приводят к тому, что содержание углеводородов в верхней части керна льда из желоба Франц-Виктории в восемь раз выше, чем в нижней. Причем для полиаренов это выражено более резко, чем для алифатических углеводородов, особенно в переходном слое между двулетним и однолетним льдом.

Северная часть Баренцева моря, где располагается желоб Франц-Виктория, находится под влиянием трансарктического полярного дрейфа, и сюда попадают льды из прибрежных зон. Поэтому здесь преобладают терригенные углеводороды. Кроме того, обнаружены соединения, явно образующиеся при участии гидробионтов зооген-

текстура льда	последнее описание
	5 см фирн
	20-70 см лед темно-серый до серого, твердый, прозрачный
	20-70 см лед белый, мягкий, непрозрачный
	70-125 см лед матово-серовато-беловатый, от полутвердого до мягкого, непрозрачный
	125-150 см лед темно-серый до серого, твердый, прозрачный

Состав керна льда из района хр. Менделеева;
а — распределение растворенных (светлые столбики) и взвешенных (темные) липидов,
б — алифатических углеводородов (АУВ),
в — полиаренов (ПАУ),
г — взвеси, мг/л (1) и солености, % (2).



ного характера. Видимо, при дрейфе интенсивно развиваются ледовые микроорганизмы, синтезирующие углеводороды. Накопление взвешенных и растворенных углеводородов происходит не только путем механического удержания веществ, но и за счет биологических процессов.

В отличие от желоба Франц-Виктории в районе хребта Менделеева аккумуляция углеводородов, особенно их взвешенных форм, происходило

в нижних слоях льда. Здесь, на периферии антициклонического круговорота водных масс Северного Ледовитого океана, при образовании льдов прибрежная взвесь практически не захватывается. Небольшое количество взвешенного материала концентрируется лишь в самом нижнем слое.

Мы проводили исследования в сентябре, когда после летнего таяния лед содержал много полостей с водой, соленость которой достигала 14—15%, в то



Идет отбор океанской воды.

время как общая соленость льда не превышала 2–2.5‰ в нижних слоях и 0.1–0.5‰ — в верхних. Высокая слоистость и пористость нижних частей льда способствует интенсификации биогенных процессов. Несмотря на отрицательные температуры на границе лед—вода, происходит бурное развитие водорослей, и нижняя поверхность льда приобретает буро-коричневый цвет. Скопления диатомовых прослеживались в слое толщиной 120–160 см.

Антарктические молодые (1.5 мес) припайные льды отличались от арктических большой обводненностью и пористостью. Соленость их уменьшалась сверху вниз (16.6 и 5.7‰ соответственно), что обычно характерно для начальной стадии ледообразования. Развитая система капилляров и каналов стока обеспечивает постоянный под-

вод биогенов из воды. Ледовые микроорганизмы сохраняют физиологическую активность по всей толще, включая верхние, контактирующие со снегом, слои. Наиболее высокое содержание углеводов фиксировалось в диатомовом слое. Когда нарастание льда приводило к перемещению диатомового слоя вверх, наиболее обогащенными углеводами оказывались средние горизонты.

Исключительно высокое содержание углеводов отмечалось вблизи колонии пингвинов (станция Мирный, о.Буромского). В керне уровень концентраций в 10–20 раз превышал величины, установленные для других припайных льдов (125 мкг/л для алифатических углеводов и $160 \cdot 10^{-3}$ мкг/л для полиаренов). Причем максимум концентраций фиксировался в поверхностном слое, содержа-

щем экскременты пингвинов, которые скорее всего также служат питательной средой для образования углеводов.

Обогащение алифатическими углеводами льда вполне закономерно, так как фитопланктон синтезирует именно этот класс углеводов. Увеличение же в кернах концентраций полиаренов (особенно во взвеси) оказалось неожиданным. Еще более неожиданным было повышенное их содержание не только на границе лед—вода, но и на границе снег—лед. Как отмечалось выше, большинство исследователей склонялось к тому, что полиарены не синтезируются морскими организмами. Изучение состава полиаренов в материале из седиментационных ловушек, поставленных в Чесапикском заливе, показало, что основная их часть (до 80%) содержится в частицах зоопланктона и диатомовых водорослей. Чесапикский залив расположен в промышленной зоне США (побережье Западной Атлантики), поэтому предполагалось, что повышенные уровни полиаренов могут возникать за счет их биоаккумуляции зоопланктоном из взвеси. Это подтверждал и состав полиаренов: преобладание пирена и флуорантена. Такая же картина наблюдалась в антарктических припайных льдах, где антропогенное загрязнение практически отсутствует. Среди полиаренов также преобладал флуорантен (40–60%), вторым был фенантрен (15–25%). Видимо, во льдах может происходить образование не только алифатических углеводов, но и полиаренов.

Эксперименты с дизельным топливом

При выгрузке топлива на антарктических станциях загрязняются нефтепродуктами припайные льды и прибрежные воды. Теоретические расчеты, учитывающие процессы взаимодей-

ствия вредных нефтяных веществ с морским льдом, трудно осуществимы. Главным (и пока единственным) методом изучения их поведения — скорости локального распространения и последующей миграции, характеристик энергомассообмена — остаются натурные исследования. Мы провели эксперименты с разливом дизельного топлива — основного вида нефтепродуктов, используемых в Антарктиде. Ранее подобные эксперименты ставили на паковых льдах станции «СП-22». Было установлено, что главную роль в естественном очищении поверхности арктического льда играет ветер. Нефтяные пленки в течение нескольких суток испарялись на 50—70%. Наиболее интенсивное испарение происходило при скорости ветра более 5 м/с.

Разлив дизельного топлива на антарктических припайных льдах осуществлялся с минимальным воздействием на природную среду. После окончания работ загрязненный лед и снег собирались в пластиковые мешки и доставлялись на судно для последующей ликвидации. Погода во время экспериментов оставалась типичной для этих мест. Температура и скорость ветра на станции Прогресс изменялись в пределах -13 — -27°C и 2 — 7 м/с соответственно. На станции Мирный — в пределах -10 — -15°C и 15 — 30 м/с. Как показали исследования, характер распространения антропо-

генных углеводородов во льдах не зависел от погодных условий, количества разлитого топлива и состояния поверхности льда. Нефтепродукты концентрировались в поверхностном снежно-ледяном слое, а затем быстро (со скоростью 120 — 180 мкг/см·сут) просачивались в глубь толщи. При этом углеводороды (преимущественно во взвешенной форме) скапливались в нижнем слое льда и в подледной воде. Главную роль в трансформации углеводородов при нефтяных разливах на припайном льду Антарктиды играли не ветровые процессы, как это отмечалось в Арктике, а фильтрация по капиллярам и каналам стока. Механизм проникновения нефтепродуктов через толщу льда, конечно, нельзя рассматривать как процесс «самоочищения» — происходит загрязнение пограничной зоны лед—вода. Именно здесь наблюдается наиболее значительное развитие диатомовых — ключевого биотопа морской Антарктики [6]. Разливы нефтепродуктов на припае оказывают разрушающее влияние на развитие ледовой экосистемы. Проведенные натурные эксперименты — первый этап исследования (время экспозиции не превышало пяти суток) процессов трансформации углеводородов во льдах Антарктиды. В дальнейшем необходимо провести более длительное изучение механизма деградации нефтяных загрязняющих веществ в снежно-

ледяном покрове и в подледных морских водах в различные сезоны года.

Итак, в снежно-ледяном покрове Арктики и Антарктики могут формироваться достаточно высокие концентрации углеводородов — более 100 мкг/л и более $150 \cdot 10^{-3}$ мкг/л полиаренов, связанных с природными процессами. Эти значения оказались выше не только величины ПДК (предельно допустимой концентрации)*, но и их концентраций в загрязненных промышленных районах [7]. Воды высокоширотных районов отличаются повышенным содержанием липидов (а в их составе углеводородов). Льды участвуют в биогеохимических процессах синтеза углеводородов. Развитие на верхней и особенно на нижней поверхности льдов водорослей приводит к увеличению содержания углеводородов, причем не только алифатических, но и полиаренов. Но в тех же слоях накапливаются и антропогенные углеводороды, так как принципиальных различий в механизме трансформации биогенных и антропогенных соединений в морской среде, видимо, не существует. Отсюда понятно, сколь важно выработать критерии определения источника углеводородов и репрезентативной оценки нефтяного загрязнения. ■

* В нашей стране принято считать, что ПДК для растворимых в воде нефтяных алифатических углеводородов составляет 50 мкг/л.

Литература

1. Загрязнение Арктики: Доклад о состоянии окружающей среды в Арктике. СПб., 1998.
2. GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution), Impact of oil and related chemicals on the marine environment // JESAMP Reports and Studies №50. L., 1993.
3. Лисицын А.П. Нерешенные проблемы океанологии Арктики // Опыт систем. океанолог. исслед. в Арктике. М., 2001. С.31—74.
4. Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М., 1994.
5. Немировская И.А. // ДАН. 2002. Т.382. №6. С.802—806.
6. Melnikov I.A. // J. Mar.Systems. 1998. V.17. P.195—205.
7. Троцюк В.Я., Немировская И.А. Нефть в океане: загрязнение или естественный приток? // Природа. 1985. №7. С.28—35.

Черные земли: полупустыня вновь становится степью

Вести из экспедиций

В.В.Неронов, А.В.Чабовский

Деградация экосистем и опустынивание под влиянием хозяйственной деятельности человека, особенно перевыпаса скота, — процесс достаточно изученный. Механизмы же естественного восстановления пастбищ при сокращении поголовья известны гораздо меньше. Это явление можно наблюдать сегодня на юго-востоке Европейской России, на Черных землях, именуемых еще Калмыцкой степью. Полевые работы экспедиции нашего института, в которой традиционно принимают участие и специалисты других научных учреждений, начались еще в 80-х годах и после некоторого перерыва продолжились с 1993 г. С тех пор они ведутся каждую весну и осень, небольшая группа исследователей на семи ключевых участках наблюдает за растительностью и грызунами с целью понять, как меняются экосистемы Черных земель.



Владимир Валерьевич Неронов, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН. Занимается вопросами функционирования аридных экосистем, антропогенными изменениями среды.



Андрей Всеволодович Чабовский, кандидат биологических наук, научный сотрудник того же института. Область научных интересов — поведение и популяционная экология пустынных грызунов, их адаптация к изменяющимся условиям среды.

Изменчивые полупустыни

В физико-географическом отношении Черные земли — это полупустыня, сформировавшаяся на молодой супесчаной равнине. Неоднократные смены

природы, в том числе из-за глубоких морских вторжений, способствовали формированию здесь специфического гидроклиматического режима и почвенного покрова, которые в свою очередь создали особую среду обитания растений и животных.

Из-за исключительной равнинности территории и слабого развития процессов денудации сложился микрорельеф, едва ли не целиком определяющий облик ландшафтов Западного Прикаспия: ортогональная сеть из западин и ложбинообразных понижений между не-



Типичный ландшафт Черных земель.

Фото В.В.Неронова

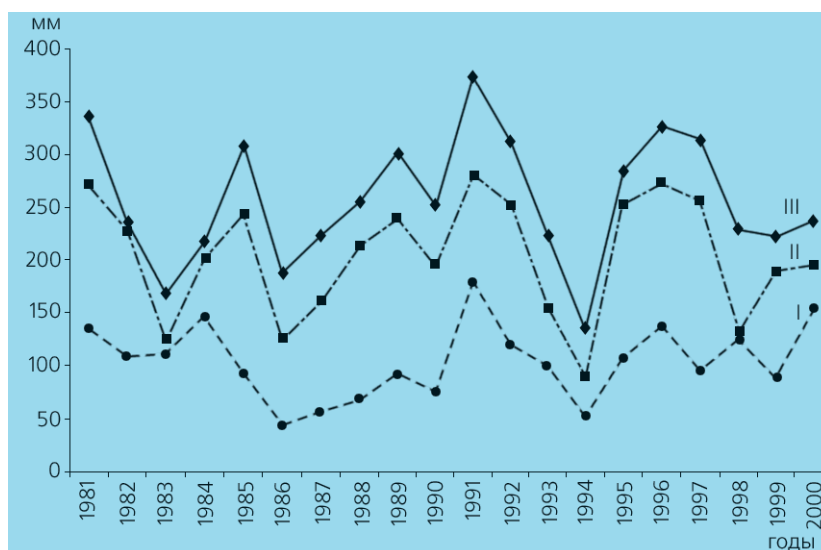
большими повышениями и плоскими участками. На плотных почвах широко представлены сусликовины — своеобразные кочки, формирование которых связано с жизнедеятельностью малого суслика. Даже с учетом их крайне неравномерного распространения относительная площадь сусликовин на благоприятных для грызуна участках может достигать 8–10%.

Климат на Черных землях резко континентальный и крайне засушливый. По ряду комплексных показателей это — самый аридный район Европейской России, а в пределах бывшего СССР уступают лишь пустыням Средней Азии. На протяжении всего года антициклоны преобладают над циклонами. Достаточно суровая зима при невысоком или вообще отсутствующем снежном покрове (поэтому Черные земли и получили такое название) влечет за собой промерзание почвы на глубину до полутора метров. Резкие перемены погоды в этот период иногда приводят к образованию гололедицы, из-за которой гиб-

нет множество домашнего скота и диких животных. Летом устанавливается малооблачная, очень сухая и мглистая погода с температурой до 45°C (на поверхности почвы — до 70°C). Запасы влаги в почве при этом так уменьшаются, что даже приспособ-

ленные к местным условиям растения-ксерофиты «замирают» еще в начале лета.

Особенность полупустыни заключается в том, что в засушливые годы режим ее увлажнения соответствует пустыне, а во влажные — настоящей степи.



Сумма осадков за весну и начало лета (I), вегетационный период — с апреля по ноябрь (II) и годовой период (III). По данным метеостанции пос. Комсомольский.



Распространение ковылей свидетельствует об остепнении Черных земель.

Фото В.В.Неронова

Кроме того, в историческом прошлом в этом регионе происходили неоднократные колебания степени засушливости климата.

Типичный растительный покров полупустыни подобен пестрой мозаике, образованной сочетанием пятен с преобладанием дерновинных злаков (ковыли, типчак, житняки) или ксерофитных полукустарничков (полыни, солянки). Фауна полупустынь Прикаспия весьма разнообразна и образует самобытный комплекс из степных и пустынных видов. Среди представителей животного мира наиболее характерны круглоголовка-вертихвостка, журавль-красавка, степной орел, малый суслик, большой тушканчик, сайгак.

Уникальность аридного комплекса крайнего юго-востока Европы для России не только в специфике его географического положения между европейскими степями и среднеазиатско-казахстанскими пустынями, но и в сложнейшей природно-антропогенной динамике местных экосистем на протяжении последних столетий. Оказалось,

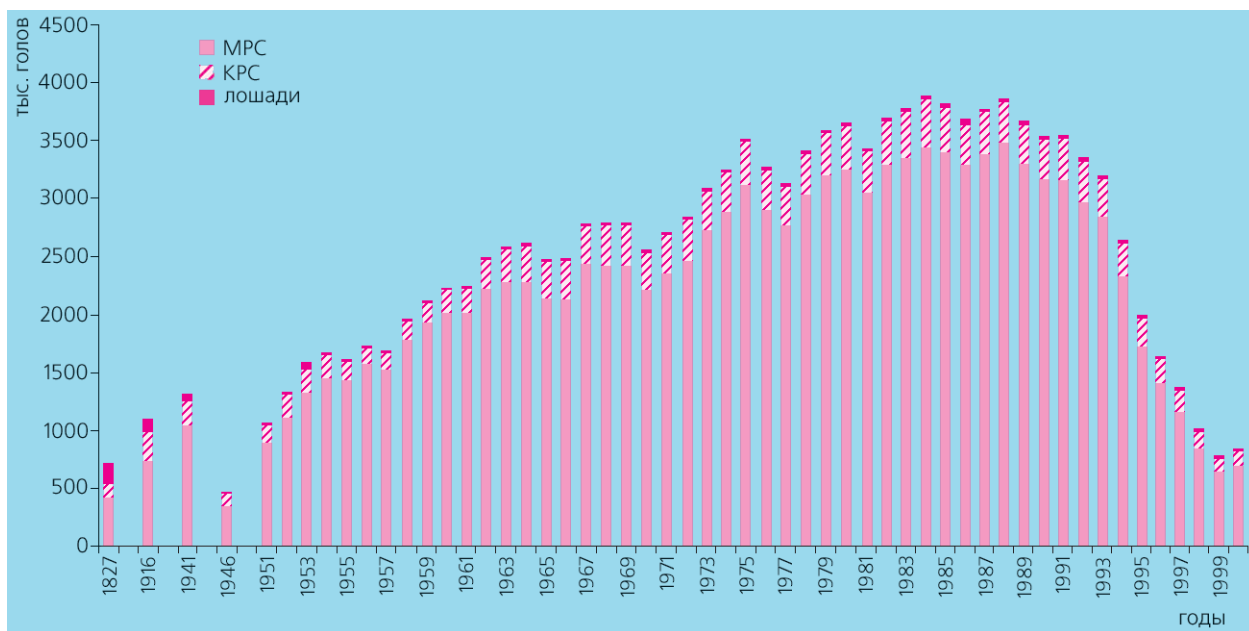
что даже в таком, отнюдь не густонаселенном районе хозяйственная деятельность человека, наряду с естественными ритмами природы, имеет огромное значение.

Пастбищное природопользование

Начиная с 1630 г., времени своего прихода на земли Прикаспийской низменности, калмыки вели кочевой образ жизни и занимались отгонным скотоводством, при котором побеги растений стравливают только раз в течение года, что поддерживает экосистемы в равновесно-устойчивом состоянии. Поэтому даже с учетом неоднократных смен периодов расцвета и упадка кочевого скотоводства сила антропогенного воздействия на протяжении столетий оставалась незначительной. Основными пользователями пастбищных ресурсов были представители дикой фауны, главным образом сайгаки и суслики, численность которых оставалась достаточно высокой.

С наступлением советской эпохи, ознаменовавшейся коренной реконструкцией сельского хозяйства, разрушением системы традиционного кочевого скотоводства и внедрением земледелия, пастбища стали деградировать, началось расширение площадей песчаных массивов. Эти процессы приостановились во время Великой Отечественной войны и депортации калмыцкого народа в Сибирь и Казахстан.

Во второй половине 40-х — 50-е годы в регион постепенно стягиваются переселенцы из различных областей страны для восстановления животноводства. Особенно много на калмыцкой земле осело выходцев из северокавказских автономий, появились крупные стационарные хозяйства, насчитывающие до 50 тыс. овец в отарах, и огромное поголовье «неучтенных» частных овец — необходимый для плановой экономики резерв в случаях непредвиденного падения колхозного скота. Деградация пастбищ лавинообразно увеличивалась с середины 60-х, достигнув своего апогея к нача-



Динамика поголовья лошадей, крупного рогатого скота (КРС) и мелкого (МРС) в Калмыкии в 1827—2000 гг., по данным Госкомстата.



Куртины сарсасана на солончаке.

Фото А.В.Чабовского



Разрушенная кошара.

Фото В.В.Неронова



Летний пожар на Черных землях.

Фото В.В.Неронова



Солянки вблизи озер осенью.

Фото А.А.Луцкиной

ду 80-х годов. К этому времени нагрузки превышали емкость естественных кормовых угодий в несколько раз, а процессы опустынивания охватили огромные площади Черных земель. Ежегодно пустыня отвоевывала 30–50 тыс. га разрушенных пастбищ. Попытки компенсировать недостаток кормов распашкой части угодий еще больше усугубили сложившуюся ситуацию. Уже к середине 70-х годов под действием ветровой эрозии все пашни и прилегающие к ним участки превратились в голые массивы песков.

Первые реальные действия для восстановления угодий были предприняты после утверждения в 1986 г. «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ». В результате скоординированных фитомелиоративных работ впервые за долгие годы отмечено сокращение суммарной площади открытых песков на Черных землях до 280 тыс. га; восстановлено 128 тыс. га пастбищ, продуктивность которых составляет 6–8 ц/га сухой массы вместо 1.5–3.2 ц/га до улучшения. Но ко-

ренным образом ситуация в регионе переменялась лишь к началу 90-х годов. Глубокий социально-экономический кризис привел к сокращению поголовья скота в совхозах Калмыкии и нагрузки на пастбища, из-за чего деградация пастбищ сменилась их восстановлением. При сравнении повторных аэро- и космических снимков территории Западного Прикаспия достоверное сокращение площадей, подверженных опустыниванию, обнаружилось уже в 1993 г. Процессы восстановления были ускорены благодаря некоторому увеличению увлажнения климата в этот период.

Реакция растительности и животного населения

В 80-е годы на Черных землях преобладали нарушенные пастбища. Около 15% площади были заняты массивами незакрепленных песков. Разреженная растительность не защищала легкие супесчаные почвы от развевания, поэтому в ветреную погоду воздух был насыщен песком.

В 90-е годы общий облик растительности коренным образом изменился. Повсеместно распространились дерновинные злаки, среди которых особое место занимает житняк, ковыли и типчак. В нижнем ярусе сформировавшихся злаковников доминирующую роль заняли осочка и мятлик луковичный, укрепляющие своими корнями легкий песчаный субстрат. Сорные эфемеры и однолетники постепенно отступают. Восстановление затронуло и полынную полупустыню, где на плотных супесях стала активно возобновляться полынь Лерха, сократились и выбитые скотом участки. Прежде развеваемые пески стали затягиваться пестрым покровом из житняка, песчаной полыни, гигантского колосняка (так называемого песчаного овса) и песчаного разнотравья.

В итоге к настоящему времени здесь сложились растительные сообщества, подверженные быстро протекающим восстановительным процессам, включающим остепнение значительных территорий [1]. Еще недавно изуродованная пустыней территория местами настолько преобразилась, что взору наблюдателя ранним летом открывается панорама колышущегося на ветру степного ковыльного моря с заливающимися в голубой вышине звонкими жаворонками. В знойную пору обычным явлением стали пожары, во время которых ковыльники выгорают на огромных площадях. Пищей для огня служат легковоспламеняющиеся дерновины злаков и скопившийся на поверхности почвы степной войлок. Восстановление полыней после пожаров задерживается, поскольку взрослые особи имеют поверхностные почки возобновления. Если огонь поражает землю не один раз, на обширной территории поддерживаются устойчивые злаковые сообщества.

Определенные изменения произошли и в животном населении Черных земель. На протяжении длительного периода одним из главных видов был малый суслик. Его распространение и численность на юге ареала исторически связаны с сельскохозяйственной деятельностью. Еще известный эколог А.Н.Формозов [2] указывал на существование прямой зависимости между развитием овцеводства и расширением ареала суслика на юго-востоке европейской части России. Когда скот поедает растительность и умеренно ее разреживает, численность грызуна увеличивается, а при густом и сомкнутом типчаково-ковыльном покрове его поселения и количество зверей сокращаются. Однако и катастрофическое опустынивание пастбищ, и распашки земель в 70–80-е годы оказались губительными для популяции суслика. К началу 80-х годов его численность на Черных землях сильно умень-

шилась, а некогда сплошные поселения сменились локальными очаговыми.

Среди мелких млекопитающих — обитателей песчаных и супесчаных участков — наиболее широко распространена полуденная песчанка. Этот похожий на крысу зверек из подсемейства хомяковых (длина тела около 10 см плюс такой же хвост) предпочитает полузакрепленные и закрепленные пески с оголенными пятнами на вершинах гряд и бугров, а также заросли кустарников. Распространение и неуклонное нарастание численности популяции вида, начавшиеся в 60-х годах, неразрывно связаны с процессами опустынивания. Благоприятные условия для этого создались при истощении пастбищ, сопровождаемом значительным увеличением продукции эфемеров и эфемероидов, семена которых — излюбленный корм песчанок. В 90-е годы, когда пастбища начали восстанавливаться, произошло лишь незначительное перераспределение зверьков по территории и слабое сокращение их численности.

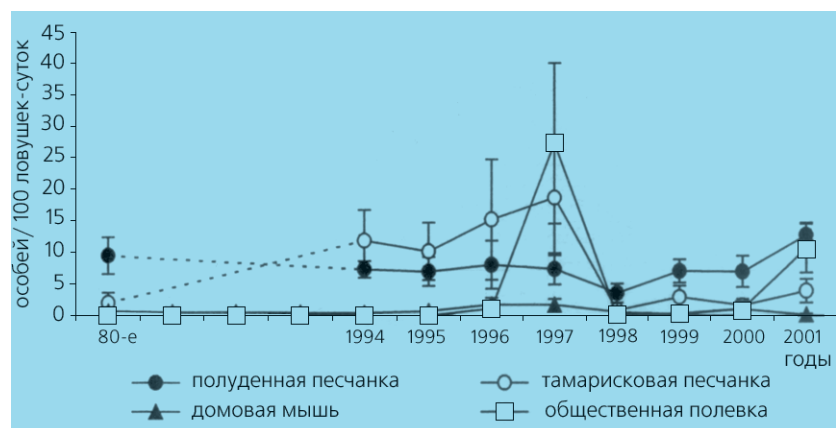
Более крупный вид песчанок — тамарисковая — предпочитает участки закрепленных песков с густой сочной высоко травной, а также кустарниковой растительностью. Распространение и значительный рост ее численности в 90-е годы, как и практически полное отсут-



Посадки кандыма на развеваемых песках.

Фото В.В.Неронова

вие в 80-е годы, не вызывают удивления. Эти изменения вполне соответствуют происходящим перестройкам в структуре растительного покрова.



Численность грызунов за период наблюдений, по данным осенних учетов.



Сайгаки — исконные обитатели Черных земель.

Фото А.А.Луцкеиной



Тамарисковая песчанка — обитатель закрепленных песчаных массивов.

Фото А.В.Чабовского

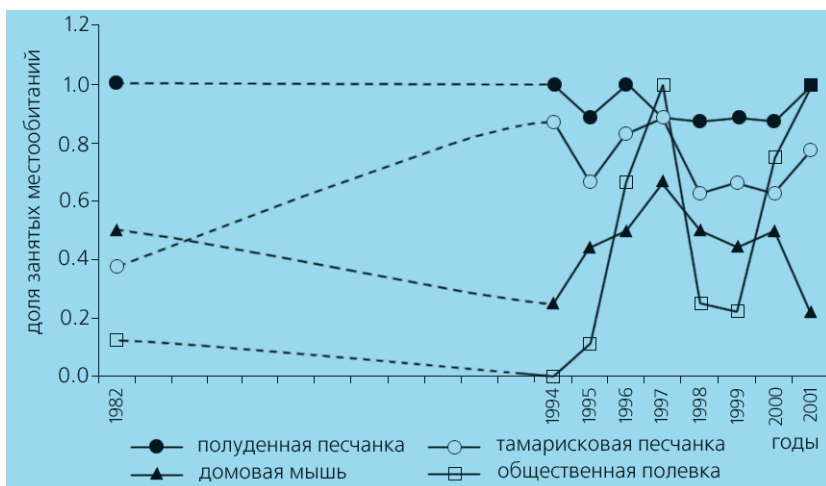
Популяции зеленоядной общественной полевки, тоже из подсемейства хомяковых, тесно связаны с обилием зеленой массы растений. Интересно, что вплоть до 1997 г. численность этого зверька оставалась стабильно низкой и только после многоснежной зимы 1996/97 г. вдруг достигла пика. Эта полевка широко заселила не только свои «коренные» ковыльно-злаковые степные сообщества, но и типичные «песчаночки» местообитания. В рационе домовых мышей и серого хомячка преобладают семенные корма. Эти виды в це-

лом по территории характеризуются низкой численностью и высокой подвижностью популяций, встречаясь в самых разнообразных биотопах. При этом домовые мыши круглогодично живут только в строениях поселков, скирдах и вейниково-тростниковых зарослях по берегам водоемов, а на открытых участках полупустыни, где образуют поселения в теплый период года, их доля колеблется незначительно и составляет 3–5%. Из других видов в районе работ изредка встречаются степная мышовка и восточноевропейская полевка.

Динамика экосистем: модели и прогнозы

Происходящие в сообществах сукцессии отражают реакцию биоты на изменения среды обитания, в том числе и под воздействием антропогенных факторов. Однако, насколько одновременно они происходят, известно сравнительно немного.

Исходя из классических положений экологии, мы ожидали, что в период восстановления растительного покрова Черных земель произойдут соответствующие по масштабу изменения и в населении грызунов. Но реальная ситуация оказалась гораздо сложнее. Хотя разнообразие видов в отдельных поселениях несколько увеличилось за счет тамарисковой песчанки и общественной полевки, общий состав остался прежним. В целом ряде местообитаний изменений в соотношении видов вообще не произошло. (Упомянутый пик численности общественной полевки, по всей вероятности, не связан с происходящими сукцессионными процессами.) Оставаясь стабильным во времени, состав населения грызунов при этом существенно отличался в различных местообитаниях на всех временных срезах.



Распространение модельных видов грызунов за период наблюдений, по данным осенних учетов и мечения на ключевых участках.



Малый суслик.

Фото М.В.Глазова

Внедрение новых видов в сообщества на фоне стабильной численности «аборигенов» (полуденных песчанок) и рост общей численности говорят о достаточно независимом их распределении относительно друг друга.

Похоже, что характер растительности и почвы не так жестко определяет состояние популяций наземных животных, как принято считать. Возможно, что предшествующая история поселений при изменении условий не в пространстве, а во времени часто определяет отставание динамики сообщества грызунов от динамики среды. Запоздалая реакция может наступить при непрерывном использовании одного и того же местообитания вопреки изменившимся и уже неблагоприятным условиям обитания. Например, известны поселения малого суслика, использовавшиеся ими на протяжении столетий.

Как правило, при изучении направленных многолетних

сукцессий на временную шкалу переносят и пространственные закономерности распределения животных, используя их для прогнозов динамики состояния и распространения видов в будущем. Данные ряда специалистов действительно подтверждают этот принцип. Так, например, при исследовании изменений среды на структуру сообществ грызунов в ходе естественных или вызванных пожарами (пирогенных) сукцессий в лесных экосистемах выявилась закономерная смена доминирующих видов в соответствии с их экологическими потребностями [3]. Вместе с тем при изучении восстановления сообществ на залежах выяснилось, что реакция отдельных видов грызунов на направленные изменения структуры растительности далеко не однозначна. Среди них оказались и такие, на которых развитие сукцессии вообще не оказывало никакого влияния [4]. Наши данные свидетельствуют не в пользу пространственных и временных изменений. Это связано с тем, что экосистемам присущ «вектор времени», не позволяющий их компонентам одновременно возвращаться в исходное состояние, наподобие маятника. Именно поэтому динамика сообществ и популяций во многом определяется их предшествующими состояниями и историей развития, а потому она может быть в известной степени независимой от происходящих изменений среды во времени.

Что же дальше? Если тип хозяйственного использования Черных земель не изменится, будут распространяться дерно-

вино-злаковые сообщества и соответственно увеличится доля общественной полевки в населении грызунов. Рост численности тамарисковой песчанки, по всей видимости, будет продолжаться только на участках песчаных массивов, где растительность только начинает восстанавливаться. Там же, где этот процесс достиг следующих стадий, следует ожидать постепенного сокращения доли этого вида из-за меньшей благоприятности условий существования. Еще длительное время сохранится современная популяция домовых мыши в открытых биотопах полупустыни. Почти не затронуты процессы восстановления экосистем и популяции полуденной песчанки, однако по мере сокращения массивов слабозакрепленных песков следует ожидать сокращения ее численности и широты распространения. Для малого суслика устойчивый рост численности, возможно, произойдет только на этапе сокращения площадей дерновинно-злаковых сообществ и замены их в ходе сукцессии на исходные полупустынные.

Однако пока это только наши предположения, изучение развития экосистемы — дело трудоемкое и требующее времени. Когда готовилась эта статья, только что завершилась работа осенней экспедиции, работавшей на Черных землях. Обработка полученных результатов позволит уточнить ранее выдвинутые гипотезы, а весной нас ждет новая поездка в Калмыцкую степь. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-04-48358.

Литература

1. Неронов В.В. // Успехи соврем. биологии. 1998. Т.118. Вып.5. С.597—612.
2. Формозов А.Н. Проблемы экологии и географии животных. М., 1981.
3. Fox B.J. // Oikos. 1990. №59. P.321—329.
4. Foster J., Gains M.S. // Ecology. 1991. V.72. №4. P.1358—1373.

Новости науки

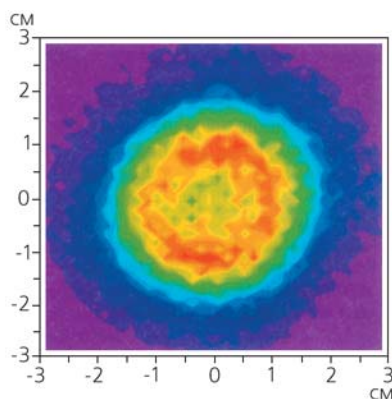
Космология. Физика

«Портрет» антиматерии

Поиск и исследование антиматерии всегда были одним из самых фундаментальных направлений физики XX в. После обнаружения позитронов (1932), антипротонов (1955), антинейтронов (1960), а затем и ядер антигелия (1969) у физиков появилась уверенность, что каждой частице соответствует античастица. Однако если в природе все симметрично, то где находится антимир? Куда делись античастицы, которые в равных количествах с «нашими» электронами, протонами и др. должны были образоваться во время Большого взрыва? Если же мир асимметричен «в нашу пользу», то в чем причина такой диспропорции?

Когда выяснилось, что частицы и античастицы абсолютно симметричны по массам и зарядам, исследователи приступили к поискам различий во взаимодействиях и, следовательно, в свойствах стабильных форм материи — атомов. К счастью, по сравнению с отдельными частицами, атом как объект можно изучать гораздо более точными методами.

Для атомов антиводорода, например, предполагалось измерение частоты электронного перехода $1s-2s$ (из основного состояния в первое возбужденное) методами лазерной спектроскопии высокого разрешения. (Частота этого перехода в водороде известна с точностью до $1.8 \cdot 10^{-14}$ — не зря же водородный мазер считается стандартом частоты.) Для реализации замысла необходимо было обладать существенным количеством антиатомов при достаточно



Холодная смесь атомов антиводорода. Зафиксированы следы аннигиляции протонов и антипротонов. Внутренний радиус ловушки 1.25 см.

низкой температуре. Эта цель достигнута в октябре 2002 г.: на установке ATHENA (ЦЕРН) получили 50 000 холодных антиатомов. Установка — после выхода антипротонов из замедляющего кольца — состоит из четырех основных частей: ловушки для захвата антипротонов, накопителя позитронов, ловушки-смесителя и детектора антиводорода. Поток антипротонов тормозился сначала с помощью микроволнового излучения, а затем — в результате теплообмена с потоком низкоэнергетических электронов, после чего попадал в ловушку-смеситель, где находился при температуре 15 К. Позитронный накопитель последовательно замедлял, захватывал и накапливал позитроны от радиоактивного источника; около половины из них удалось передать в ловушку-смеситель, где они дополнительно охлаждались синхротронным излучением. Все это было необходимо для значительного повышения вероятности образования атомов антиводорода.

Наличие антиатомов фиксировали в момент их аннигиляции, свидетельством которой считали пересечение в одной точке следов двух жестких квантов, образовавшихся при электрон-позитронной аннигиляции, и следов пионов, получившихся при аннигиляции антипротона и протона. Получен первый «портрет» антивещества — синтезированное из таких точек компьютерное изображение. Поскольку аннигилировали только те атомы, которые «выскользнули» из ловушки (а таких, достоверно пересчитанных, оказалось всего 130), заявленные 50 000 атомов антиводорода лишь создают невидимый фон «портрета».

До конца работы еще очень далеко, но успех очевиден: впервые удалось взглянуть на часть антимира, пусть даже «сбежавшую» из ловушки.

Nature. 2002. V.419. №6906. P.458 (США); http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2_19/index.htm

Астрономия

Планеты или звездные пятна?

Теоретически внесолнечные планеты можно искать несколькими способами, но пока их обнаруживают в основном по методу лучевых скоростей, основанному на эффекте Доплера. Звезда под действием притяжения планеты слегка колеблется по лучу зрения, то приближаясь к Земле, то удаляясь от нее, что приводит к периодическому смещению линий в звездном спектре. Число предполагаемых планет, открытых методом лучевых скоростей, перевалило в 2002 г. за сотню, причем этот метод удалось независимо подтвер-

дить, предсказав с его помощью прохождение планеты по диску звезды. Так что достоверность метода в целом ни у кого сомнений не вызывает. Но иногда он, как считают Г.Генри и его коллеги из Университета штата Теннесси (США), все-таки вводит исследователей в заблуждение¹.

Поводом для такого печального вывода стали наблюдения звезды HD 192263, у которой в 1999 г. методом лучевых скоростей была открыта планета-гигант. Проанализировав вариации яркости этой звезды, Генри и его соавторы обнаружили, что на протяжении цикла наблюдений, с весны 2001 г. по июль 2002 г., блеск менялся с периодом 24 дня. Звезда HD 192263 обладает довольно сильной хромосферной активностью. Переменность блеска подобных объектов часто объясняется наличием на их поверхности большого числа пятен, подобных солнечным. Когда звезда поворачивается к наблюдателю большим пятном или группой пятен, ее видимый блеск падает, причем период его изменения отражает период осевого вращения звезды. Явление это довольно обыденно и не заслуживало бы специального упоминания, если бы период изменений яркости звезды не совпал с орбитальным периодом предполагаемой планеты. Когда звезда повернута к наблюдателю большим пятном, ее спектр в значительной степени является спектром пятна. Но пятно движется относительно звезды: до прохождения через центральный меридиан светила оно приближается к наблюдателю, а потом — удаляется. Соответственно линии в его спектре смещаются то в синюю, то в красную области. Это колебание линий и могло стать причиной ошибки «охотников за планетами».

«HD 192263 нужно исключить из списка звезд с планетными системами, пока существование планеты не будет подтверждено дополнительными наблюдениями», — заключает Генри. Таким подтверждением стали бы новые

спектральные наблюдения звезды: с их помощью ученые могли бы убедиться, что смещения линий в спектре вписываются в непрерывный орбитальный цикл. Если колебания лучевой скорости при обоих наблюдениях будут синхронизованы, т.е. будут отстоять друг от друга на целое количество периодов, планетная интерпретация останется неизменной. В противном случае придется признать, что первый набор наблюдений связан с одним звездным пятном, а второй — с другим.

Генри подчеркивает, что его выводы затрагивают не более 5% предполагаемых планет. Большинство звезд с планетными системами старше HD 192263, и у них таких больших пятен быть не может.

Первооткрыватели планеты у звезды HD 192263 с Генри не согласны. Сотрудник Женевской обсерватории С.Удри (S.Udry) утверждает, что руководимая им группа провела одновременные фотометрические и спектроскопические наблюдения звезды и пришла к выводу: колебания лучевой скорости не связаны с переменностью блеска. Однако эти результаты пока не опубликованы.

© Д.З.Вибе,

кандидат физико-математических наук
Москва

Метеоритика

Происхождение африканского метеорита загадочно

Для астрономов 1969 г. стал знаменательным: в феврале в Мексике упал метеорит Альенде, в составе которого обнаружено большое количество древнейших минеральных образований — оксидно-силикатных включений, обогащенных кальцием и алюминием. Именно по их химическим и изотопным характеристикам можно судить о первичном веществе, образовавшемся в ранней Солнечной системе. Спустя чуть больше шести месяцев после падения Альенде Австралия получила в «подарок» метеорит Мёрчисон, явившийся первым

вещественным свидетельством существования аминокислот вне нашей планеты. Наконец, в том же году японские полярники обнаружили на льду Антарктиды девять метеоритов и открыли путь для массового сбора метеоритного вещества на ледяном континенте. С тех пор таких пришельцев из космоса там собрано более 10 тыс.

Сегодня науке известно уже более 20 тыс. «небесных камней», т.е. в 10 раз больше, чем в 1969 г. Многие из них не представляют научной ценности (это обыкновенные хондриты), но немало и относящихся к крайне редким типам метеоритного вещества. Так, в 1981 г. американская антарктическая экспедиция обрела внешне заурядный метеорит массой всего 31,4 г, который оказался... «кусочком Луны». Теперь ученые имеют в своем распоряжении более 20 образцов горных пород, прибывших с нашего естественного спутника «своим ходом», и столько же, по всей видимости, марсианского происхождения.

В 1999 г. в Марокко нашими соотечественниками был найден метеорит NWA 011 (NWA — аббревиатура от названия региона находки — Северо-Западная Африка). Новые данные о нем получила группа ученых из Японии и США во главе с А.Ямагучи (A.Yamaguchi; Национальный институт полярных исследований в Токио). Анализ показал, что по своей структуре, минералогическим и химическим свойствам он в общем сходен с земными породами и известными космическими базальтами. Это означает, что данное тело представляет собой продукт кристаллизации расплава, образовавшегося некогда на одной из малых планет. Но есть у него и существенные отличия.

Когда исследователи сопоставили химический состав метеорита NWA 011 с составом планет земной группы и крупного астероида Веста, оказалось, что по концентрации порообразующих элементов NWA 011 напоминает базальтовые метеориты (эвкриты), предположительно поступающие к нам от Весты. Но считать, что NWA 011 — прямой представитель

¹ Henry G.W. et al. // Astrophys. J. (Letters). 2002. V.577. P.L111—L114.

базальтов Весты, было бы слишком поспешно. Группа Ямагучи не совершила подобной ошибки.

Исследователи установили, что изотопный состав кислорода в данном метеорите существенно отличается от известных эвкритов. Конечно, некоторые изотопные вариации в образцах с одной и той же планеты вполне возможны. Но такие различия всегда носят закономерный характер и предсказуемы. А изотопный состав кислорода у NWA 011 не отвечает закономерностям, ожидаемым от любого из эвкритов. Очевидно, его родительское тело содержало намного больше легкого изотопа кислорода ^{16}O , чем Веста. Отсюда вывод: новый метеорит родом из не известной доселе планеты, прошедшей стадию магматической дифференциации. Он не может быть образцом простого базальтового расплава; его происхождение значительно более сложное, включающее обширное плавление, кристаллизацию и смешение ранее не известных типов магм.

Science. 2002. V.296. №5566. P.271, 334 (США).

Химия. Экология

Углеродные нанотрубки удаляют из воды свинец

Известно, что длительное потребление воды с повышенным содержанием свинца может вызвать серьезные заболевания, в частности поражение головного мозга. Основные поставщики этого загрязнителя — промышленные предприятия по производству аккумуляторов, печатной продукции, красок; наиболее распространенный метод очистки — адсорбция с помощью активированного угля. Однако ужесточение требований к качеству питьевой воды требует поиска более эффективных сорбентов. Недавно китайские ученые установили, что ими могут служить углеродные нанотрубки¹ (ранее с их помощью успешно удаляли диоксины² и ионы фтора).

¹ Chem. Phys. Lett. 2002. V.357. P.263—266.
² Углеродные нанотрубки в борьбе с диоксинами // Природа. 2002. №9. С.82—83.

В эксперименте нанотрубки получали пиролизом смеси $\text{C}_3\text{H}_6/\text{H}_2$ (в соотношении 2:1) с никелевым катализатором. Выяснилось, что их сорбционная емкость существенно выше, чем активированного угля, причем увеличивается после обработки трубок азотной кислотой. Так, в деионизованной воде при концентрации раствора нитрата свинца 10 мг/л и pH=5.1 емкость обработанных в HNO_3 углеродных нанотрубок равна 11.2 мг/г, а активированного угля ~5.5 мг/г. Оказалось также, что эффективность удаления Pb^{2+} из воды заметно возрастает при увеличении pH раствора с 3.0 до 7.0.

http://perst.isstph.kiae.ru/inform/perst/2_18/index.htm

Геология

Уран Австралии

Общие запасы урана на территории Австралии оцениваются в 654 тыс. т, причем себестоимость добычи 1 кг U на большей части месторождений составляет менее 40 долл. США. Основные залежи сосредоточены в шести месторож-

дениях: Олимпик-Дам (штат Южная Австралия), Рейнджер, Джабилука и Кунгарра — по берегам р.Южный Аллигатор (Северная территория), Кинтайр и Йилири (штат Западная Австралия). В сумме это составляет 27% известных запасов во всем мире.

Доля Австралии в мировой добыче урана возросла с 1% (365 т) в 1977 г. до 22% (7579 т) в 2000 г., так что теперь страна занимает второе место после Канады.

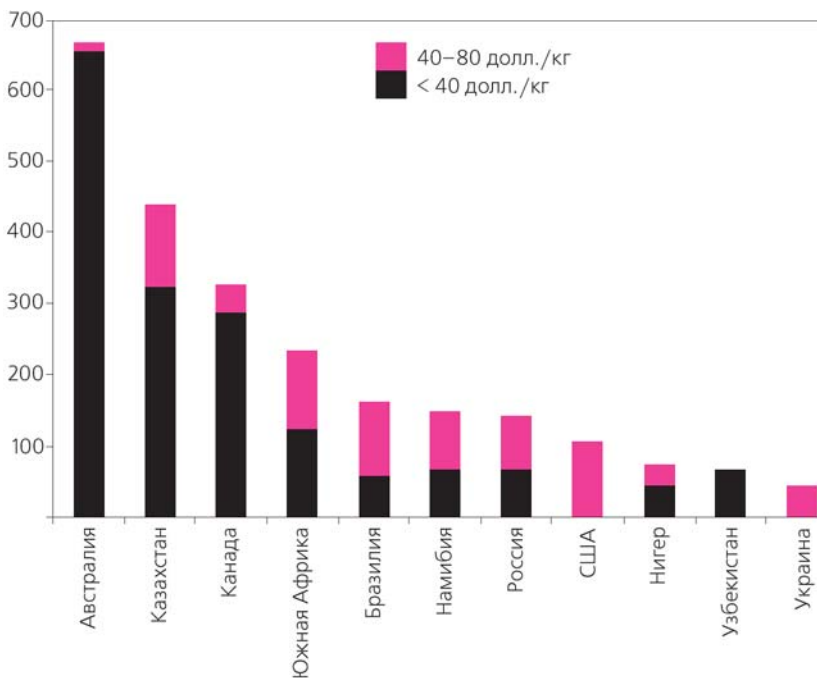
Сама Австралия уран не потребляет; весь добываемый металл экспортируется в страны Северной Америки, Ближнего Востока и Европы, где он используется в качестве топлива для атомных электростанций.

AusGEO News. 2002. №64. P.30 (Австралия).

Геология

Нефть Тасманова моря

Значительная часть дна Тасманова моря, омывающего восточное и северо-восточное побережья Австралии, принадлежит бассейну Фэрэй; за последние годы геологи обнаружили здесь проявления неф-



Подтвержденные запасы урана в различных странах и себестоимость его добычи (в долл. США).

тегазоносности. Но как далеко к северу простирается данная геологическая провинция, доходит ли она до принадлежащих Франции о-вов Новая Каледония, оставалось неясным. Установить это была призвана недавняя австралийско-французская экспедиция на борту научно-исследовательского судна «Franklin», которая продолжила сейсмо-разведочные работы, проводившиеся в 1998 г. с австралийского судна «Rig Seismic», а в 1999 г. — с французского «Atalante».

Комплекс геофизических исследований, в том числе сейсмическое картирование дна, отбор колонок донного грунта, позволяющих судить о происхождении и составе газов в породах на подводном поднятии Лорд-Хау, буровые работы и подъем образцов глубинных пород, — все это позволяет судить о климате во времена голоцена и плейстоцена, о ходе субдукции в меловой период и в кайнозой, а также о процессах задугового образования рифтов в этом сложном регионе Юго-Западной Пацифики. В качестве источника сейсмических волн при работах использовалась новая система из двух воздушных «пушек», буксировавшихся за судном.

Получен высококачественный 24-канальный профиль общей протяженностью 2790 км. К северу от центра бассейна Фэрзуэй (главным образом в его новокаледонской части) выполнены два разреза в направлении с востока на запад, позволившие обнаружить значительное количество диапиров и отражающие сейсмические горизонты, которые свидетельствуют о присутствии газогидратов.

Несколько южнее (на австралийской части акватории) методом многоканального сейсмического профилирования проведены с востока на запад шесть новых сейсмических разрезов. Очевидно, депрессии, идущие с севера на юг, до точки с координатами 26°20'ю.ш., — продолжение бассейна Фэрзуэй, однако земная кора здесь более тонкая. На западе бассейн ограничен поднятием Лорд-Хау, а на востоке северная его часть простирается до Западно-Норфол-

кского хребта. Таким образом, ныне длина бассейна оценивается примерно в 700 км, ширина — в 10 км. Можно утверждать, что южная половина бассейна Фэрзуэй (около 70 тыс. км²) обладает некоторым нефтяным потенциалом; глубина океана здесь от 1200 до 3600 м.

В сентябре 2002 г. «Franklin» сменился большим научно-исследовательским судном — «Southern Surveyor», от экспедиции на котором геологи ждут новых важных результатов.

AusGEO News. 2002. №65. P.12 (Австралия); www.marine.csiro.au/franklin

Океанология. Техника

Науке нужны новые подводные аппараты

Годовой бюджет американских научных учреждений, занимающихся исследованием морей и океанов, составляет около 400 млн долл. Однако ныне требуются средства на конструирование и строительство новых подводных пилотируемых и автоматических аппаратов, главным образом для исследований на больших глубинах.

Знаменитой подводной лодке «Alvin» уже исполнилось 35 лет. Этот подводный обитаемый аппарат, неся на борту экипаж из двух ученых и одного пилота, способен погружаться на 4500 м, проводить на дне до 4–5 ч подряд и охватить наблюдениями около 62% акватории Мирового океана. Его полезная нагрузка 680 кг, внутренний объем — немногим более 4 м³; иллюминаторы дают как боковой обзор, так и со стороны дна. Хотя «Alvin» и может проработать еще лет 10, он уже устареваает как физически, так и морально, а стоимость его обслуживания растет¹.

¹ О технических преимуществах отечественных глубоководных обитаемых аппаратов и достигнутых с их применением высоких результатах см. в «Природе»: Михальцев И.Е. Глубоководные обитаемые аппараты «Мир» // 1998. №6. С.38–39; Сагалевиц А.М., Лисицын А.П. Успехи исследований с подводными обитаемыми аппаратами // 1996. №7. С.26–37; Леин А.Ю., Сагалевиц А.М. Курильщико поле Рейнбоу — район масштабного абиогенного синтеза метана // 2000. №8. С.44–53 и др. публикации. — *Примеч. ред.*

В числе достижений подводного аппарата «Alvin», совершившего более 3700 погружений, можно назвать подъем водородной бомбы, уроненной с американского самолета над Средиземным морем в 1966 г.; открытие гидротермальных полей на Галапагосском рифте и некоторых хемосинтезирующих организмов, живущих на дне вокруг черных курильщиков (1977); ценные геофизические наблюдения в районах соприкосновения плит земной коры в ходе их субдукции; обзор остатков затонувшего «Титаника» и др.

Национальный научный фонд США предложил Вудсхолскому океанографическому институту (штат Массачусетс) разработать до 2003 г. проект новой подлодки, способной заменить и превзойти «Alvin». Ее строительство должно обойтись не менее 20 млн долл. Специалисты разделились на два лагеря: одни считают необязательной большую ее глубоководность, другие настаивают на максимальной погружаемости. Военные же предпочитают изучать малые глубины с помощью непилотируемых аппаратов; они заявили о своем нежелании присоединиться к Национальному научному фонду и Управлению по изучению океана и атмосферы в части финансирования плановой фазы работ.

В Национальном научном фонде США зреет идея создания в различных точках дна океана автоматизированных обсерваторий, которые, впрочем, также будут нуждаться в обслуживании с помощью подлодок.

Science. 2002. V.297. №5580. P.326 (США).

Океанология

«Мир-1» и «Мир-2» на гидротермальных полях Атлантики

Пятнадцатилетнюю создания «Миров» — уникальных глубоководных обитаемых аппаратов¹ —

¹ См. также: Сагалевиц А.М. «Мир-1» и «Мир-2»: нужны ли России достижения ее науки и техники? (К 10-летию создания и эксплуатации) // Природа. 1998. №1. С.37–50.

был посвящен 47-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш», проходивший с 17 мая по 14 августа 2002 г. Впервые российские ученые сумели в столь короткий срок провести полный комплекс океанологических исследований на шести гидротермальных полях Атлантики, расположенных на оси Срединно-Атлантического хребта. Было выполнено 46 парных погружений аппаратов на глубины 800—3600 м; наряду с этим применялись и традиционные методы изучения океана; существенно, что отбор каждой пробы и образца проводился с точной навигационной привязкой. В погружениях участвовали ученые Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН: геологи Ю. А. Богданов и А. Ю. Леин, биологи А. Л. Верещака, А. В. Гебрук, Г. М. Виноградов, С. В. Галкин и Е. М. Крылова. Начальником экспедиции был автор этого сообщения².

На базе полученных в рейсе данных удалось сравнить характеристики гидротермальных полей, отличающихся как по возрасту, так и по природе их образования. На каждом поле были собраны представительные коллекции геологических и биологических образцов; составлены ландшафтные описания экосистем; проведены гидрофизические и гидрохимические измерения вблизи гидротермальных источников, взяты пробы горячего флюида непосредственно из труб черных курильщиков и струй мерцающих вод. Лабораторная обработка всего этого богатейшего материала уже сейчас позволяет делать некоторые предварительные выводы.

На гидротермальном поле Рейнбоу, относящемся к открыто-

² Согласно письму президента Академии подводных искусств и наук США Р. Уайта, присланному на имя президента РАН академика Ю. С. Осипова, А. М. Сагалевич принят в члены Академии по номинации «Наука». В октябре 2003 г. состоится вручение ему самого престижного в мире приза за подводные исследования (New Orleans-Grand Isle — NOGI) и его имя будет занесено в Зал подводной славы. Такой чести ранее удостоивались Ж.-И. Кусто, Р. Баллард, Э. Линк, Ж. Пикар и другие выдающиеся исследователи. А. М. Сагалевич — первый российский ученый, принятый в Академию подводных искусств и наук США. — *Примеч. ред.*

му нами ранее принципиально новому типу полей с аномально обогащенными кобальтом медно-цинковыми рудопоявлениями, получена информация о специфике развития глубинной циркуляционной рудоносной системы, об особенностях состава и свойств гидротермальных флюидов и отложений.

На недавно открытом мелководном низкотемпературном поле Лост Сити, также связанном с глубинной циркуляционной системой, выявлено исключительно активное участие микроорганизмов в трансформации состава и свойств гидротермальных растворов и формировании аномальных карбонатных построек³.

Получена дополнительная информация, необходимая для описания процессов образования крупных сульфидных залежей на трех гидротермальных полях, характеризующихся разной продолжительностью рудного процесса (Брокен Спур — менее 1000 лет, Снейк Пит — около 4000 лет и ТАГ — около 50 000 лет).

Взятие проб из гидротермальных плюмов с целью изучения состава растворенных и взвешенных веществ важно для описания процессов преобразования материала, поставляемого подводными гидротермальными источниками в придонную воду, и его дальнейшей судьбы в океане.

В районе пяти гидротермальных полей Северной Атлантики, где изучалось распределение планктона как во всем столбе воды, так и у дна, выявлены устойчивые различия планктонных сообществ между южными абиссальными и северными батинальными полями. На Рейнбоу и Лаки Страйк обнаружены придонные скопления калянусов *C. belgolandicus* и эуфаузиид *Thysanoessa* sp.; их биомасса достигает 3—5 мг/м³ в среднем для слоя толщиной 400—500 м. Скопления эуфаузиид отмечены на глубинах 1.5—2.0 км — намного глубже, чем было известно.

³ Подробнее см.: *Леин А. Ю., Богданов Ю. А., Сагалевич А. М., Пересыткин В. И., Дулов Л. Е.* Белые столбы Покинутаго города // *Природа*. 2002. № 12. С. 40—46.

На поле Лост Сити найдена специфическая гидротермальная фауна — остатки митилид рода батимодиолусов, полихеты. Придонный слой населен амфиподами-эузиридами (такими же, как и на Лаки Страйк) и эуфаузидами-нематосцелисами. С использованием «Миров» отобраны креветки из всех биотопов названных гидротермальных полей. Найдены новые виды рода *Alvinocaris*. У всех массовых видов гидротермальных креветок обнаружены четкие коготы, что позволяет оценить количество линек и время жизни. Дальнейшая обработка проб гидротермального мейобентоса позволит существенно дополнить наши представления о структуре донных сообществ на всех исследованных полях.

Экспедиция такого широкого масштаба и столь эффективного использования в океане новейших научных приборов и техники проведена в Российской академии наук впервые.

© А. М. Сагалевич,
доктор технических наук
Москва

Вулканология

Остров Монтсеррат: бедствие продолжается

Один из Малых Антильских о-вов Карибского моря — Монтсеррат — считается сейсмоопасным местом, и недаром. Почти вся южная часть острова образована древним вулканом Суффриер¹, время от времени дающим о себе знать очередным извержением. Впрочем, с XVII в. все было относительно спокойно.

Но вот в 1995 г. кратер Инглишс вдруг резко расширился в восточном направлении, из него повалили клубы пепла и диоксида серы, а за ними последовали выбросы крупных блоков раскаленной породы. Купол Касл-Пик, до этого скрытый внутри кратера, начал быстро расти. Почва сотрясалась роем слабых, но частых землетрясений; затем началось

¹ См.: Активность вулкана Суффриер // *Природа*. 1998. № 8. С. 116.

излияние лавы — ее поток разрушил аэропорт и административный центр острова — г.Плимут, заставив население опасной зоны срочно эвакуироваться.

Надежды, что подземные силы вскоре успокоятся, не оправдались. В 2001 г. вблизи вершины вулкана возникла крупная расщелина, сейчас уже полностью заваленная изверженной породой. Высота купола к лету 2001 г. возросла с 915 до 990 м над ур.м. В 2002 г. купол продолжал расти в среднем на 2 м³/с, а это примерно 400 тыс. т свежей лавы в сутки! Часть лавовых языков стала выходить в море, главным образом по долинам рек, в результате чего воды в них не стало, а после дождей по руслам прошли мощные грязевые потоки.

Население северной части острова многие месяцы «сидит на чемоданах». Вулканологи и сейсмологи местной обсерватории, а также специалисты из отдела анализа спутниковой информации Управления по изучению океана и атмосферы США в Кемп-Спрингсе считают, что для этих районов прямой угрозы пока нет. Однако вулкан ведет себя крайне капризно, и обстановка может измениться к худшему в любой момент. Извержение способно продолжаться еще годы, так что разрешать эвакуированным возвращаться в родные места пока оснований нет.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2002. V.27. №4. P.13 (США).

Сейсмология

Сейсмические вибрации при субдукции

В земной коре помимо землетрясений могут происходить и другие, не столь скоротечные, сейсмические процессы. Например, по соседству с вулканами нередко регистрируются довольно продолжительные вибрации, называемые вулканическим дрожанием.

В 2000 г. в Японии начала действовать сеть «Hi-net» из 600 цифровых сейсмометров, установлен-

ных по всей стране в скважинах глубиной 200—300 м. По чувствительности приборов и плотности их расположения она превосходит все иные аналогичные сети в мире. «Hi-net» фиксирует те колебания, которые возникают в нижних слоях коры, в пределах Нанкайской зоны субдукции (именно в этом регионе Филиппинская литосферная плита погружается под юго-западную часть о.Хонсю), и продолжают от нескольких минут до нескольких недель.

Японскому сейсмологу К.Обара (К.Обара; Национальный исследовательский институт наук о Земле и предотвращения катастроф, Цукуба) удалось зарегистрировать вибрации коры в районах, весьма удаленных от центров вулканической активности. Без «Hi-net» и централизованной обработки собранных ею данных эти колебания, вероятно, остались бы незамеченными либо интерпретировались как вызванные метеорологическими или антропогенными факторами.

Анализ показал, что источники толчков находятся на глубине 35—45 км, что согласуется с местом расположения и очертаниями сейсмической области в зоне субдукции на тех же глубинах. Все это говорит о тектоническом происхождении вибраций. Обара склонен относить их к вулканическому дрожанию, которое порождается потоками влаги, высвобождаемой при дегидратации опускающейся Филиппинской плиты. Эта гипотеза хорошо согласуется с поведением жидких веществ в погружающихся базальтах, где породы обезвоживаются при температуре около 500°C. Согласно оценкам, такая температура в Нанкайской зоне субдукции достигается на глубинах от 45 до 55 км.

Обнаруженные вибрации варьируют как в пространстве, так и во времени; иногда они коррелируют между собой, причем местоположение источника дрожания перемещается на расстояние около 100 км со скоростью примерно 9 км/сут — это значительно медленнее, чем перераспределение напряжения от упругих волн,

но быстрее, чем передача в породе тепловой энергии.

Не исключено, что дрожание могут возбуждать слабые и средние по силе землетрясения (возможно, они приводят к изменениям напряжения в земной коре и колебаниям уровня давления в содержащейся в ее порах жидкости). Так, в 2001 г. были зарегистрированы три подземных толчка с магнитудами от 4.8 до 6.7; они сопровождалась вибрациями на расстоянии 40—50 км от эпицентров, длившимися по несколько суток.

Удивление специалистов вызвало очевидное отсутствие аналогичных дрожаний на северо-востоке Японии, в районе Японского желоба, где Тихоокеанская плита погружается под северную часть о.Хонсю. Наиболее заметное различие между этой и Нанкайской зонами состоит в возрасте плит и тем самым — в их характерных температурах. Филиппинская плита возникла около 30—15 млн лет назад, а Тихоокеанская — примерно 130 млн лет назад, и ее температура на 300—500°C ниже. Кроме того, Тихоокеанская плита погружается быстрее, чем Филиппинская (83 и 40 мм/год соответственно), и располагает меньшим временем, чтобы «разогреться» прежде, чем достигнуть определенной глубины. Дегидратация Тихоокеанской плиты под северо-восточной частью Японии происходит на глубинах не менее 100 км; именно там она наконец достигает той температуры, при которой обезвоженные породы стабилизируются. Специалисты надеются, что удастся зафиксировать вибрации и на таких глубинах.

Science. 2002. V.296. №5573. P.1679, 1625 (США).

Климатология

Роль водяных паров в глобальном потеплении

Как известно, влияние концентрации CO₂ (основного парникового газа) на глобальное потепление усиливается под воздействием водяных паров, содержание которых в газовой оболочке Земли

сильно варьирует в зависимости от температуры, конденсации, испарения, переноса ветрами. При увеличении температуры оно повсеместно растет, создавая положительную обратную связь. Б.Дж.Соден (B.J.Soden; Национальное управление США по изучению океана и атмосферы в Принстоне) и его коллеги из Ратджерского университета в Нью-Брансуике (США) построили модель общей циркуляции атмосферы с учетом процессов, возникших при извержении вулкана Пинатубо (Филиппины) в 1991 г.

После крупного извержения выброшенный пепел через несколько месяцев покидает атмосферу и слабо влияет на климат в целом, но аэрозоли вулканического происхождения (в основном капли серной кислоты) сохраняются, блокируя солнечное излучение. Стратосферные ветры разносят их по всему земному шару, вызывая климатические возмущения, противоположные изменениям, связанным с парниковым эффектом: климат планеты остается более холодным в течение нескольких лет, пока аэрозоли не исчезнут из атмосферы.

Соден с коллегами исследовали как общую колонну паров (количество влаги, находящейся в слоях от земной поверхности до верхней части атмосферы), так и относительную влажность верхнего слоя тропосферы. Исходя из спутниковых данных, они установили, что максимум охлаждения (~0.5 К) следует отнести на счет извержения Пинатубо, приведшего к уменьшению количества водяных паров в атмосфере (приблизительно на 3%) и в верхних слоях тропосферы. Это указывает на существование интенсивной положительной обратной связи.

Многие специалисты полагают, однако, что извержение нельзя считать идеальным примером эффекта, обратного парниковому: вулканические аэрозоли в большей степени влияют на поступление солнечной энергии, чем на тепловое излучение Земли, а с парниковыми газами все обстоит наоборот.

Воздействие вулканической активности ослабевает от экватора к полюсу быстрее, чем влияние парниковых газов. Оба климатических фактора уменьшают скорость понижения температуры по мере приближения к верхнему слою тропосферы, хотя один из них ведет к глобальному потеплению, а другой — к похолоданию.

Science. 2002. V.296. №5568. P.665 (США).

Археология

У истоков мореплавания

В 2001 г. в пустынной местности на севере Кувейта, неподалеку от селения Ас-Сабийя, британо-арабская экспедиция во главе с археологом Р.Картером (R.Carter; Лондонский университетский колледж) обнаружила остатки древнейшей лодки. Собственно, самой лодки не было — среди развалин небольшого каменного строения аккуратно лежали 22 крупные пластины природного битума, использовавшегося для смоления. Низ этих пластин сохранил следы ракушечного обрастания; остались на них и отпечатки канатов, веревки и скрепленных ею связок тростника, из которого был сделан корпус. Изотопный анализ по ¹⁴C показал, что лодкой пользовались в конце убейдийского периода — между 5511 и 5324 г. до н.э. Обнаружение морского судна в пустыне не должно казаться странным: это место тысячу лет назад было побережьем Персидского залива, впоследствии отступившего на восток.

Ранее археологи находили в Сирии, в среднем и верхнем течении Евфрата, где тоже встречаются природный асфальт и битум, остатки речных лодок (следов обрастания на них нет), датированные примерно 3800 г. до н.э. В одной из египетских гробниц сохранилась речная ладья¹, которой не менее 5 тыс. лет. Древнейшие плавсредства, относящиеся к 8000 г. до н.э., были обнаружены на терри-

¹ См. также: Ладья древних египтян и индусов // Природа. 2001. №6. С.77.

ториях Франции и Нидерландов, но то были скорее плоты или бревна-долбленки, а не лодки. Однако все перечисленные находки уступают ас-сабийской: она, как минимум, на 2 тыс. лет старше любого из ныне известных морских судов.

Открытие говорит не только о давности судостроения, но и о существовании торговых и культурных связей между древнейшими цивилизациями — месопотамской, зародившейся на берегах Тигра и Евфрата (нынешние территории Кувейта и Ирака), и хараппской (сегодняшний Пакистан). Теперь стало понятно, каким образом гончарные изделия, явно обработанные в Двуречье, оказывались в поселениях за сотни километров к югу, в том числе по другую сторону Персидского залива.

Древние кувейтские судостроители были профессионалами. Битум для смоления они доставляли из местности, расположенной почти в 100 км от верфи. Использовали его не в чистом виде, а в смеси с рыбьим жиром, толчеными кораллами и пр. Картер полагает, что район Ас-Сабийя, бывший в то время полуостровом, поначалу служил лишь естественной гаванью, где можно было переждать непогоду. Но позже здесь возникла деревня, состоявшая из каменных строений, где жили умельцы — судостроители и судоремонтники. Это были как выходцы с берегов Тигра и Евфрата, так и предки нынешних арабов, о чем свидетельствуют каменные орудия, обломки глиняных сосудов и украшений, произведенных руками месопотамских и убейдийских мастеров. По мнению английского археолога Дж.Оутса (J.Oates; Кембриджский университет), месопотамцы приплывали в район Персидского залива, чтобы обменять гончарные изделия на морскую рыбу и жемчуг. Позже, к середине 3-го тысячелетия до н.э., их потомки меняли оманскую медь на товары, произведенные в долине Инда.

Science. 2002. V.296. №5574. P.1791 (США).

Наука и судьба

А.В.Яблоков,
*член-корреспондент РАН,
 президент Центра экологической политики России
 Москва*

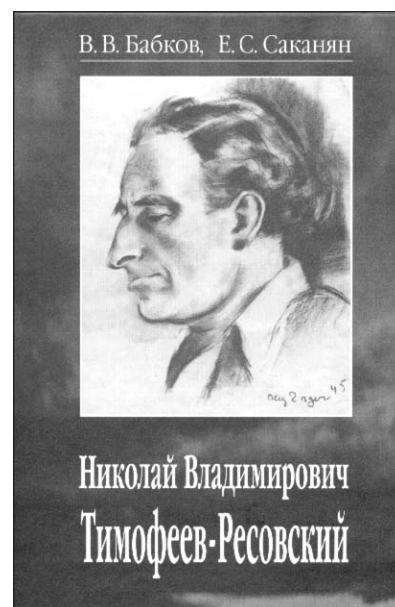
Литература об одном из крупнейших естествоиспытателей XX в. Николае Владимировиче Тимофееве-Ресовском (1900—1981) пополнилась новым и весьма необычным описанием не только жизни и творчества этого выдающегося человека и ученого, но и событий, последовавших после его смерти.

Первая часть книги «Труды и дни...» — научная биография Тимофеева-Ресовского (автор — В.В.Бабков, он более 15 лет изучает творчество и жизнь Николая Владимировича).

Изложение отличается широтой подхода. Например, в первую главу, помимо разделов «Семья», «Гимназия», «Университет. Звенигород», «Женитьба», «Начало исследований», включены блестяще написанные очерки «Николай Константинович Кольцов», «Сергей Сергеевич Четвериков» и «Оскар Фогт», а также очерк о самобитном научном семинаре, известном в истории отечественной биологии под названием «Соор» («Совместный ор»). Такое построение заставляет автора отходить от строго хронологического изложения событий, но зато позволяет проследить историю развития идей. Так, следующие шесть глав посвяще-

ны крупнейшим научным направлениям, развитым Тимофеевым-Ресовским: феноменологии реализации генов, исследованию мутаций, популяции и микроэволюции, радиобиологии и биофизике, молекулярной биологии, радиационной биогеоценологии. Эти главы насыщены научным материалом, таблицами, графиками, рисунками из оригинальных работ Николая Владимировича и интересны не только историку.

За научным блоком следуют две объемистые главы «Годы в Германии» и «Жизнь в СССР». Они завершают научную биографию Тимофеева-Ресовского и в то же время оказываются добротной исторической основой для второй, эмоционально напряженной части книги «Чтоб не очень совестно было помянуть» (автор — Е.С.Саканян). Она посвящена описанию борьбы (порой трагической) за истину, принципиальность, порядочность в науке, за свободу мысли и творчества, проявившиеся в действиях сотен людей, в разное время, в СССР, Германии, Франции, США, Италии и других странах, вставших на защиту доброго имени Тимофеева-Ресовского. Эта часть книги не биография, а скорее авантурный роман с невероятными сюжетами, с человеческими судьбами и живым дыханием не



В.В.Бабков, Е.С.Саканян.
НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ. Отв.
 ред. Б.С.Соколов.

М.: Памятники исторической мысли, 2002. 672 с.

так уж и давней истории. Названия глав близки к названию фильмов о Тимофееве-Ресовском, созданных Е.Саканян начиная с 1978 г.: «Рядом с Зубром», «Охота на Зубра», «Герои и предатели» и, наконец, «Любовь и защита».

В 1921 г. Кольцов предложил Тимофееву-Ресовскому и Д.Д.Ромашову (тогда еще студентам) заняться мутациями, вызываемыми рентгеновским излучением у дрозофил. Весомого результата не получилось, поскольку использованные в экспериментах природные группы дрозофил оказались непригодными для точного количественного учета мутаций. Первые публикации Тимофеева-Ресовского (1925) были посвящены мутациям в природных популяциях дрозофил, флуктуирующему проявлению гена, так называемым «обратным» мутациям. Радиомутациями Николай Владимирович занялся в Берлине (1926), чему и были посвящены более 80 его публикаций, в которых описывались количественные закономерности образования мутаций под действием радиации (зависимость эффекта от дозы, от распределения ее во времени и от типа излучений). В работе с Е.А.Тимофеевой-Ресовской (1927) были описаны летальные мутации, что положило начало изучению генетического груза. В 1932 г. он выступил с пленарным докладом на VI Международном конгрессе по генетике в США. Все это сделало Тимофеева-Ресовского одним из основателей *радиационной генетики**.

В 1935 г. Николай Владимирович опубликовал серию работ о «малых» мутациях. На основе их изучения в природных популяциях он получил представления об элементарном материале, структуре и факторах процесса эволюции и четко сформулировал специфику процессов *микроэволюции* (1936—1943).

* Здесь и далее курсивом термины Н.В.Тимофеева-Ресовского.

Вводя количественные характеристики в изучение фенотипического проявления гена, он сформулировал феномены неполного проявления (*пенетрантность*), варьирующего выражения (*экспрессивность*) и *специфичности* гена в серии работ 1925—1934 гг., тем самым заложив основы *феногенетики*. На материале радиомутаций Николай Владимирович сформулировал *принцип усилителя* в биологии. Используя в конце 30-х генератор быстрых нейтронов, Тимофеев-Ресовский становится одним из первых исследователей их биологического действия и разработчиков *метода меченых атомов*.

Работая с X-лучами, Николай Владимирович предложил защищать врачей-рентгенологов специальными свинцовыми фартуками. Тогда же он пришел к заключению о принципиальной невозможности «индифферентных» доз, поскольку любая, даже самая малая доза может стать причиной мутации. Важной чертой его работ было внимание к отдаленным последствиям действия радиации, тогда как и в 30-е годы, и много позже биологов и врачей в первую очередь интересовал непосредственный эффект облучения.

Одной из фундаментальных стала работа Тимофеева-Ресовского с физиками К.Г.Циммером и М.Дельбрюком «О природе генных мутаций и структуре гена» (1935), в которой были сформулированы *принцип попадания* и *принцип мишени*. В остроумном опыте Николай Владимирович впервые точно определил размеры гена и пришел к выводу, что индуцированные X-лучами мутации зависят от изменения одной или немногих молекул. Устойчивость «генной молекулы» и принцип *конвариантной редупликации* вытекал из квантово-механических соображений. Эта мысль в изложении Э.Шредингера (1944), подтолкнула Дж.Уотсона и Ф.Крика (как они утверждают) к открытию двойной спирали

ДНК. Впервые проблемы химической природы хромосом и гена обсуждались на семинаре в Клампенборге в апреле 1938 г., где по инициативе Тимофеева-Ресовского встретились молодые биологи и физики.

На протяжении ряда лет (1929—1945) Николай Владимирович исследовал пространственное и временное распределение и сравнительную жизнеспособность популяций дрозофил и других насекомых. В конце 30-х он предложил интернациональный проект популяционно-генетических исследований, который так и не состоялся. Однако под его влиянием Ф.Г.Добржанский осуществил в Северной и Центральной Америке знаменитую серию исследований «Genetics of Natural Populations», впоследствии ставшую классической.

В рецензируемой книге большое внимание уделено документированию событий, связанных с работой Тимофеева-Ресовского в фашистской Германии. «Немецкие сотрудники Института смотрят на этого странного и темпераментного русского с умилением и искренним восхищением. Они даже дают ему такую свободу слова и мнений, какую не позволили бы ни одному другому человеку», — писал в 1942 г. американский генетик Т.Эллингджер, посетивший Берлин в конце 1939 г.

Николай Владимирович, рискуя многим, помогал беглым военнопленным, «восточным рабочим» (остарбайтерам), преследуемым евреям и многим другим, нуждавшимся в защите. Его старший сын Димитрий (Фома) был арестован гестапо весной 1943 г. за участие в подпольной организации. Однако Тимофеев-Ресовский отверг предложение возглавить программу стерилизации славян радиацией даже в обмен на жизнь сына. Тот был отправлен в лагерь Маутхаузен, где его расстреляли во время восстания 1 мая 1945 г.

Считая себя ни в чем не виноватым перед родиной и желая вернуться в Россию, Николай Владимирович остался в зоне советской оккупации вместе со своими сотрудниками. Далее последовал арест, концлагерь, и лишь šťastливое стечение обстоятельств, ярко описанное в книге, привело к организации им Лаборатории биофизики в Свердловске и биостанции в Миассово (Ильменский заповедник).

Изучая накопление элементов методом меченых атомов и опираясь на биогеоценотические идеи В.И.Вернадского и В.Н.Сукачева, он вместе с Е.А.Тимофеевой-Ресовской фактически создал новое направление — *радиационную биогеоценологию*. Когда в 1957 г. в Челябинской обл., близ г.Кыштыма, из-за неправильного хранения (о чем Николай Владимирович предупреждал) взорвался резервуар радиоактивных отходов, он предложил начальству использовать гигантскую загрязненную зону в качестве полигона для комплексных исследований последствий радиоактивного заражения. Проект получил было поддержку министра Е.П.Славского, но возобладало мнение о необходимости проведения работ в жестко секретном режиме без участия автора. Осуществление этого проекта облегчило бы впоследствии работы в Чернобыльской зоне.

В книге хорошо показана роль Тимофеева-Ресовского в восстановлении научной предметности, нарушенной сталинскими чистками и лысенковским мракобесием. С 1956 г. сначала в Миассово, а затем и на Можайском водохранилище, возобновилось нечто вроде четвериковских «сооров», с дискуссиями о запретных или мало известных в то время генетике, кибернетике, теории эволюции, радиобиологии и учении о биосфере. Будучи блестящим лектором, Николай Владимирович выступал везде, где представлялась возможность. Только сейчас видны масштабы его воздействия на развитие современной биологии в России и других странах бывшего СССР. Не будет преувеличением сказать, что в орбиту его прямого и косвенного влияния оказались вовлеченными в 60—80-е годы тысячи исследователей, в основном биологов.

Научная пронзительность, колоссальная эрудиция, открытость и доброжелательность, которые так привлекали к Тимофееву-Ресовскому коллег, резко выделялись на фоне закрытой общественной и научной жизни в СССР. В книге приведены некоторые доносы из тех, что неоднократно направлялись в «вышестоящие инстанции», начиная с его первого, после ареста и ссылки, публичного появления зимой 1955/56 года. В ре-

зультате одного из таких доносов Николай Владимирович вынужден был уйти из Института медицинской радиобиологии в Обнинске. Благодаря поддержке академика О.Г.Газенко он стал консультантом в Институте медико-биологических проблем. В новой для него области космической биологии и медицины Тимофеев-Ресовский внес заметный вклад, изучая действие ионизирующих излучений в космосе, исследуя искусственные замкнутые экосистемы и комбинированное влияние магнитных полей, радиации, невесомости, световых ритмов на человека, находящегося в длительном полете.

Важную часть книги составляет Приложение с интереснейшими, в том числе ранее не известными документами из Общества кайзера Вильгельма, Фонда Рокфеллера, КГБ СССР, ЦК КПСС, Академии наук и частных архивов. В текст удачно встроены три блока иллюстраций, некоторые из которых публикуются впервые. Том завершают библиография трудов Н.В. и Е.А.Тимофеевых-Ресовских и именной указатель.

Авторам книги удалось не только воссоздать научную биографию одного из самых крупных современных биологов, но и добавить яркие штрихи к противоречивой, трагической и великой истории естествознания XX в. ■

Литература

1. Онтогенез. Эволюция. Биосфера. Под ред. А.В.Яблокова. М., 1989.
2. Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский: Очерки. Воспоминания. Материалы. Под ред. Н.Н.Воронцова. М., 1993.
3. Н.В.Тимофеев-Ресовский. Воспоминания. Сост. и ред. Н.И.Дубровина. М., 1995.
4. *Тимофеев-Ресовский Н.В.* Избранные труды: Генетика. Эволюция. Биосфера. Под ред. О.Г.Газенко и В.И.Иванова. М., 1996.
5. Н.В.Тимофеев-Ресовский на Урале. Воспоминания. Сост. В.Куликова. Екатеринбург, 1998.
6. Н.В.Тимофеев-Ресовский: Истории, рассказанные им самим, с письмами, фотографиями и документами. Сост. и ред. Н.И.Дубровина. М., 2000.

Ботаника. Садоводство

И.Н.Гусева, Т.В.Кочешкова. СОРТА ЯБЛОНИ КОЛЛЕКЦИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА МГУ: Каталог. М.: Т-во научных изданий КМК, 2002. 108 с.

Яблоня — ведущая плодовая культура в средней полосе европейской части России. Почвенно-климатические условия Московской и сопредельных областей считаются благоприятными для ее выращивания.

Каталог содержит описания сортов яблони, отобранных в Ботаническом саду при Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова для коллекции, заложенной осенью 1951 г. на Ленинских горах под руководством профессора С.И.Исаева. Исследования проводились совместно с лабораторией биологии, генетики и селекции на кафедре высших растений (руководитель — доктор биологических наук В.В.Вартапетян).

Коллекция насчитывает более 200 наименований. Это уникальный генофонд, в котором собраны как народные сорта, так и сорта известных отечественных селекционеров — И.В.Мичурина, И.С.Горшкова, М.А.Лисавенко, А.В.Петрова, Е.Н.Седова, С.Ф.Черненко, их последователей и учеников в России и за рубежом. Сорта, произрастающие в нечерноземной полосе, были получены из регионов России, Белоруссии, Украины, Прибалтики, США и Канады.

В каталоге дан перечень 135 лучших традиционных и перспективных сортов яблони. Характеристика каждого включает общее морфологическое описание, зимостойкость, урожайность плодов, их устойчи-

вость к парше, другим распространенным болезням и вредителям. Для 40 сортов приведены цветные фотографии: Анисовка, Антоновка, Аэлита, Россиянка, Северянка, Услада, Фаворит, Алтайский Голубок и другие. Каталог стал отчетом специалистов о 50-летней исследовательской работе с коллекцией яблони.

Геофизика

Н.С.Сидоренков. ФИЗИКА НЕСТАБИЛЬНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ. М.: Физматлит, 2002. 384 с.

Книга обобщает результаты исследований, посвященных неравномерности вращения Земли, движению полюсов, прецессии, нутации и связанным с ними географическим процессам. Излагается теория движения Земли вокруг центра масс. Выведены дифференциальные уравнения, показывающие неустойчивость вращения Земли под действием возбуждающих функций. Изложена теория приливных колебаний скорости вращения. Вычислены компоненты тензора инерции атмосферы и оценен эффект сезонного перераспределения воздушных масс.

Построена теория зональной циркуляции атмосферы и раскрыт механизм неравномерности вращения Земли. Описаны межгодовые колебания системы Земля—океан—атмосфера и построена модель возбуждения чандлеровского движения полюсов. Предложен механизм движения литосферных плит. Обсуждаются возможные геофизические процессы, ответственные за многолетнюю (от 2 до 100 лет) неустойчивость вращения Земли.

История науки

П.А.Александров. АКАДЕМИК АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ АЛЕКСАНДРОВ: Прямая речь. 2-е изд. М.: Наука, 2002. 248 с.

Анатолий Петрович Александров (1903—1994) — ученый и общественный деятель, руководитель исследований и разработок по атомной науке и технике, академик и президент Академии наук СССР (1975—1986). Под его руководством создавались серия промышленных реакторов по разработке оружейного плутония и трития, атомный подводный и надводный флот, строились ледоколы, шло становление и развитие атомной энергетики. Около 30 лет Александров стоял во главе крупнейшего научного центра страны — Института атомной энергии им.И.В.Курчатова.

В основу книги положены магнитофонные записи Александрова, сделанные зимой 1978 г. Это нечто среднее между воспоминаниями, следующими в более или менее хронологическом порядке, и интервью, где вопросы задавали слушатели — М.А.Балашова (жена Анатолия Петровича) и сын П.А.Александров с женой Т.Н.Бочаровой. Объем этого материала довольно велик — 15 часов записи. Воспоминания охватывают период с 1922 г. по конец 50-х годов и приводятся в виде монолога. О других периодах жизни Александрова рассказывают его родственники и коллеги.

В книге использованы материалы из труднодоступных изданий. Приведено большое количество ранее не публиковавшихся фотографий из семейного архива Александровых.

Геральдический бестиарий

О.М.Иванова-Казас,
доктор биологических наук
Санкт-Петербург

Геральдика как наука зародилась в Европе в XI—XII вв., а близкие к гербам государственные символы и эмблемы появились еще в 4—3-м тысячелетиях до н.э. Они изображались на печатях, монетах и медалях и часто были связаны с тотемами (животными, растениями или даже неодушевленными предметами, которые считались родоначальниками того или иного племени или семьи).

Во времена крестовых походов вошли в употребление шлемы, полностью закрывающие лицо, поэтому возникла необходимость в опознавательных знаках, которые изображались бы на щитах, плащах и т.д. По гербу можно было определить родовую принадлежность рыцаря и его социальный статус. Среди крестоносцев имелись представители разных государств Европы. Многие воины из менее родовитых семей за свои подвиги посвящались в рыцари, и для них создавались новые гербы.

Во время турниров герольды (глашатаи) объявляли имена и гербы рыцарей, предварительно проверив их родословную, в которой должно было быть не менее четырех поколений свободных предков. Так возникла геральдика, целью которой стало описание старых гербов с ис-

пользованием специальной терминологии, а также правила конструирования новых.

Наследственная принадлежность сближает гербы с родовыми знаками, но некоторые исследователи отрицают существование между ними прямой связи, что не всегда оправдано [1]. Во всяком случае, каждый герб имеет свою историю.

Существует легенда, что в Англии во время войны Алой и Белой розы был штурмом взят один замок. Хозяйка с маленьким сыном спряталась в какой-то каморке. Пока ее искали, паук успел сплести паутину, закрывавшую входную дверь. Враги, добравшиеся до этой каморки и увидевшие паутину, решили, что в нее давно никто не заходил, и тоже не заглянули туда. Так был спасен последний оставшийся в живых отпрыск древнего рода, после чего в его родовой герб был внесен паук-крестовик.

Обычно вначале герб представлял собой щит, на котором изображали какой-нибудь предмет (рыцарский шлем, башню замка, руку с мечом, растение, животное, небесное тело и т.д.). При этом все детали (форма щита, цвет основного поля, поза изображенного животного) имели символическое значение с мистическим или религиозным оттенком. Выбор символов не был случайным, но для совре-

менного человека он остается непонятным.

Гербы часто украшали стилизованными изображениями животных. Царь зверей — лев — символизировал власть, силу, мужество, храбрость и великодушие; те же качества приписывались орлу. Благодаря контактам со странами Востока на гербах появились экзотические животные; кроме того, на них часто изображали фантастические образы, представление о которых заимствовано из мифологии и разных бестиариев — зоологических трактатов развлекательного и назидательного характера. Развлекательного потому, что в них содержалось много возбуждающих воображение небылиц, а назидательного из-за того, что эти небылицы преподносились как иносказательные иллюстрации к положениям Священного Писания. Вот несколько описаний символов на гербах [1, с.214—220].

«Гриф (*Grief, griffon*) — он имеет верхнюю часть туловища орлиную, а остальную, нижнюю, — львиную, т.е. голова и крылья, как у орла, с прибавлением стоячих ушей, с шеей, покрытой перьями. На передних ногах, обыкновенно поднятых, имеются когти. Брюхо, задние ноги и хвост у него, как у льва. Изображается всегда в профиль, обыкновенно стоячим».



Геральдические звери: единорог, мелузина, гарпия, варшавская сирена.

«Дракон (*Drache, dragon*) — пресмыкающееся, но вместе и крылатое животное, с большой заостренной головой и разверстой пастью, из которой, а равно и ноздрей, часто изображается выходящее пламя. Он имеет также выпущенный язык и большие зубы, крылья его подобно тому, как у летучей мыши, имеют на конце костей когти. Передние ноги его подобны львиным или орлиным, вместо задних он имеет толстый кольчатый хвост <...>. Он изображается в профиль <...> иногда коронованным, редко с человеческой головой (например, герб французской фамилии *Montdragon*)».

«Единорог (*Einborn, Monoceros, licome*) — скачущий, стоящий или сидящий конь с раздвоенными копытами, мохнатыми ногами, львиным хвостом и длинным, витым рогом на лбу, иногда с козлиной бородой». Единорог был особенно любимой эмблемой в средневековых легендах и сказаниях (на нем ездили волшебники). Единорог уничтожал все, что попало навстречу, только чистая дева могла его укротить и сделать ручным. У древних христиан он служил символом не только силы, но чистоты и целомудрия. У Ивана Грозного была печать с единорогом, которой он пользовался для частной переписки.

«Химера (*Chimere*) — фантастическое существо, имеющее

голову и грудь женщины, туловище и лапы львиные, хвост змеи». Надо заметить, что эта химера больше похожа на сфинкса, чем на настоящую мифологическую фурию, у которой, как известно, было три головы: льва, козы и дракона. В этом выразилась специфика геральдической терминологии.

«Василиск (*Basilisk*) изображается в виде дракона с петушиной головой (в немецких гербах), а иногда в виде птицы, напоминающей орла, со змеиным хвостом и крыльями летучей мыши, усеянными глазами».

«Кентавр (*Hippocentaur, centaure*) — фигура, заимствованная из языческой мифологии, изображается как получеловек и полуконь. Встречается, между прочим, в польской геральдике, где он имеет особенность, а именно: вместо хвоста у лошади — пасть дракона, которую поражает стрела, пущенная из лука самого же кентавра». Далее сообщается: «В нашей древней апокрифической литературе кентавр слился с другой легендарной фигурой китовраса (в «Сказании о Соломоне и Китоврасе»)».

«Гарпия, или девоподобный орел (*Jungfrauadler, Harpie*), представляет орла с коронованным женским бюстом. Составные части этой фигуры изображаются различными цветами, причем орлиная — черным (например, в гербе г. Нюрнберга)».

«Мелузина, или морская женщина (*Meerweib, Seejungfer, Melusine, sirene*), изображается в виде обнаженной женской фигуры, которая ниже груди заканчивается в два рыбьих хвоста. Она часто встречается в гербах коронованной, с длинными распущенными волосами, иногда без рук. Часто она держит зеркало в одной и гребень в другой руке». Мелузина служила эмблемой г.Палермо еще в XII в. Следует заметить, что термины «мелузина» и «сирена» тоже не соответствуют мифологическим. Как известно, древнегреческие сирены были птицами с женской головой, которые своим пением заманивали моряков на скалы и пожирали их. А морские девы с рыбьим хвостом больше похожи на русалок.

Между прочим, герб Варшавы тоже сирена, но с одним хвостом, изображенная в профиль. В одной руке она держит меч, в другой щит, а атрибуты символизируют готовность защищать город от врагов. Интересно, что в XIV в. ее изображали с человеческой головой и птичьим туловищем, покрытым чешуей, с когтистыми лапами и хвостом, как у льва. Таким образом, имидж варшавской сирены с течением времени сильно изменился. Вообще составители средневековых гербов не ограничивали свою фантазию.

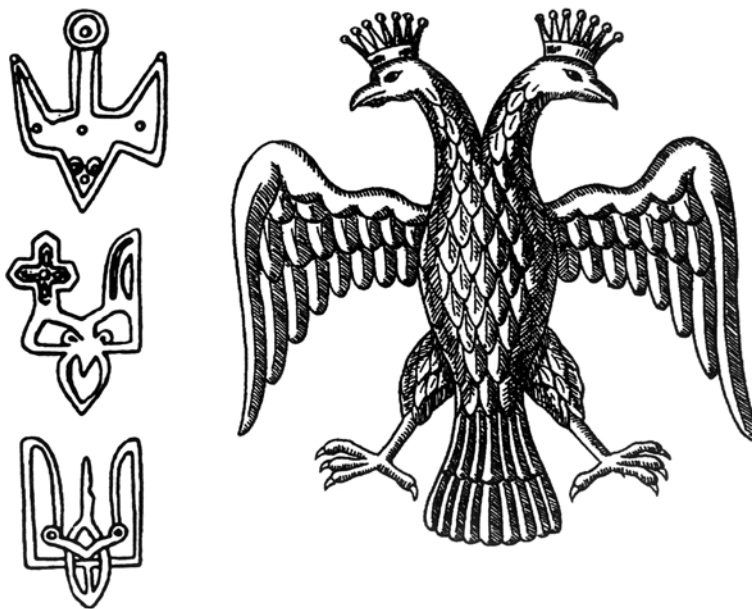
В настоящее время все государства имеют свои гербы, иногда очень своеобразные. В Таи-

ланде — это экзотическая птица (по-видимому, персонаж индуистской мифологии Гаруда — истребительница змей).

Гербом киевского князя Владимира Святого был так называемый трезубец, история которого уходит своими корнями в языческие времена. У других Рюриковичей были как трезубцы, так и двузубцы, но эти знаки не были настоящими гербами.

Происхождение трезубца неясно. Мы привыкли считать его атрибутом морских богов, однако Киевская Русь не имела выхода к морю. Существует несколько толкований этой эмблемы: стилизованное изображение церковного светильника (паникадила); символ триединства и трехмерности мира, «трех поколений, охваченных рамками одной человеческой жизни»; сокол, бросающийся сверху на добычу и потому повернутый головой вниз [2]. Последнюю версию поддерживали многие, отмечая, что имя Рюрика происходит от имени славянского бога Огня Рарога, что на польском и чешском языках означает сокол [3].

В XI в. у Ярослава Мудрого на гербе был изображен всадник, поражающий копьем дракона и символизирующий победу православия над язычеством. Позднее всадника стали называть Георгием Победоносцем. Этот герб сохранялся и у московских князей до появления двуглавого орла. Последний имеет очень древнее происхождение. Археологические находки показывают, что изображения двуглавого орла встречались уже в Малой Азии, на территории Хеттского государства, во 2-м тысячелетии до н.э. и даже еще раньше, в бронзовом веке, в 4—3-м тысячелетиях до н.э. В 324 г. н.э., после того как римский император Константин основал Константинополь, двуглавый орел стал государственным гербом Римской империи (это указывало на наличие двух столиц, но означало также наметившееся разделение империи



Русские государственные эмблемы: трезубцы у древних Рюриковичей и двуглавый орел.

на Западную и Восточную). После окончательного распада Римской империи в XV в. у нее появились два наследника — так называемая Священная Римская империя (союз нескольких германских государств) на Западе и Российское государство на Востоке.

Великий князь всея Руси Иван Васильевич III женился на византийской царевне Софье Палеолог, а после разрушения Византии (Восточной Римской империи) турками Россия стала самым большим православным государством. Поэтому Иван III объявил, что Россия — это третий Рим, и перенял его герб. Некоторое время двуглавый орел сосуществовал с Георгием Победоносцем, потом оба символа были объединены: всадника изображали на щитке, расположенном на груди у орла. После покорения Сибири двуглавый орел получил иное значение — одна голова смотрит на Запад, а другая на Восток, символизируя власть России на двух материках.

Постепенно у двуглавого орла появились новые атрибуты.

При Петре Великом он уже держит в одной лапе скипетр, а в другой державу, и его венчают три короны, которые, по одному толкованию, символизируют Святую Троицу, а по другому — единение трех славянских народов: великороссов, украинцев и белорусов. Позднее российский герб обогатился новыми деталями, в частности в него были включены гербы вошедших в состав Российской империи царств, княжеств и областей.

Средневековая европейская так называемая научная геральдика проникла в Россию в XVII в. Первыми обзавелись гербами дворяне, земельные владения которых временно находились в пределах Польши или Литвы. У русских родовые символы играли большую роль. В гербе смоленских князей оказалась «райская птица» Гамаюн, но почему-то без ног и крыльев. Петр Великий упорядочил русскую геральдику: были установлены должность герольдмейстера и право на владение гербом; награждение им стало прерогативой самого императора.



1



4



2



5



3



6

Гербы Якутии (1), Северной Осетии (2), Хакасии (3), Дагестана (4), Алтая (5), Удмуртии (6).

Двуглавый орел оставался на российском гербе до 1917 г. После Февральской революции его лишили всех царских регалий, а после Октябрьской отменили полностью. «Серпастый и молоткастый» (по Маяковскому) советский герб был окончательно утвержден в 1923 г., после чего мало изменился. Союзные республики тоже имели свои гербы, которые представляли собой вариации на ту же тему. В СССР и странах «социалистической ориентации» общенациональная символика была под-

менена узкоспециальной партийной [4].

В начале 90-х, после распада Советского Союза, появились независимые республики и возникла необходимость в соответствующих гербах. Многие независимые государства восстановили старые гербы (если таковые имелись) или создали новые. В Российской Федерации снова появился двуглавый орел в петровском варианте (с Георгием Победоносцем, скипетром и державой, причем три его короны иногда рассматриваются

как символ единства законодательной, исполнительной и судебной власти).

Особую историю имеет герб Украины. После разделения Руси на Великороссию и Украину, последняя своего герба не имела. В разное время отдельные ее части, подпадавшие под влияние соседних государств, получали различные эмблемы. Когда Украина вошла в состав Российской империи, у нее появился герб с двуглавым орлом, а в 1917 г. после провозглашения Украинской Народной Республики, был создан герб с древним трезубцем. Он просуществовал до 1919 г., когда Всеукраинский съезд Советов принял новый советский герб. Теперь снова восстановлен украинский трезубец.

Оказавшаяся в составе Украины Крымская Республика приобрела совершенно новый и довольно сложный герб — поддерживаемый двумя колоннами варяжский щит, на котором центральное место занимает грифон, держащий в лапе раскрытую раковину с голубой жемчужиной. Символическое значение деталей герба разъясняется так: «варяжский щит напоминает о том, что Крым является одним из звеньев знаменитого пути «из варяг в греки» <...>. Грифон является одним из характерных и древних символов Северного Причерноморья и в сочетании с жемчужиной, символизирующей Крым как уникальный уголок природы, определяется как хранитель и защитник республики. Голубой цвет жемчужины олицетворяет единство народов Крыма. Мраморные колонны, выполняющие в гербе роль щитодержателей, служат напоминанием об античном периоде в жизни полуострова» [4, с.35].

Грузия, Армения, Молдова и государства Прибалтики восстановили свои старые гербы с орлами, львами и рыцарями или использовали эмблемы, возникшие еще в XIII—XV вв., а азиатским государствам пришлось

создавать новые гербы: белый сокол — у Кыргызстана, знаменитый ахалтекинский конь — у Туркменистана.

Узбекистан ввел в свой герб легендарную птицу Хумо, которая стоит, расправив крылья на фоне восходящего Солнца. Ее обрамляют пучок пшеницы и ветки хлопчатника с раскрытыми коробочками, а сверху располагается восьмиугольник с полумесяцем и звездой. Считается, что птица Хумо соответствует Симургу, упоминаемому в «Авесте» — священной книге зороастризма, который некогда был распространен на Ближнем Востоке и в Средней Азии [5]. Эта птица спасала от преследований благородных и достойных людей, унося их на своих крыльях. В гербе Узбекистана она символизирует счастье и свободолобие.

На гербе Казахстана изображен сводчатый верх юрты, которую обрамляют два рогатых и крылатых коня.

Представляют интерес и гербы некоторых республик, входящих в Российскую Федерацию. Так, на флаге Башкортостана изображена конная статуя Салавата Юлаева на фоне восходящего Солнца. Этот памятник «отражает устремленность народа к свободе, его мужество, благородство и верность долгу». Всадники изображены также на гербах Адыгеи, Тувы и Республики Саха (Якутии), причем якуты проявили оригинальность и воспроизвели на своем гербе наскальный рисунок с берегов Лены.

Карелия изобразила на своем гербе медведя, а Чеченская Республика — волка. У Северной Осетии (Алании) — золотой барс на фоне гор, а у Хакасии — барс, свернувшийся клубком, в обрамлении березовых ветвей. Он олицетворяет вечность жизни на Земле, внутреннюю силу республики и преемственность культур современного и древнего населения Хакасии, а береза символизирует дружбу русского и хакасского народов.



Дореволюционный герб Казани и современный герб Республики Татарстан.

Дагестан, Ингушетия и Кабардино-Балкария поместили в свои гербы орлов, но не похожих на российского. Удмуртская Республика использовала мифологические мотивы удмуртского, русского, татарского и других народов. На гербе изображена белая птица с восьмиконечным солнечным знаком на груди, названная в описании лебедем, однако лебединая шея у нее отсутствует. Эту фигуру именуют также человеко-птицей, которая очень широко распространена в мифологии. В частности, к ней относят древнегреческих сирен и славянских Алконоста и Сирина (в виде человеко-птицы многие народы представляли себе душу умершего человека). В данном случае этот образ должен символизировать возрождение, мудрость и совершенство. Удмуртская человеко-птица начинает ряд гербов с изображениями химер.

Грифон Кан-Керде на гербе Алтая олицетворяет солнечную птицу, оберегающую мир, счастье и богатство родной земли — покровительницу зверей, птиц и всей природы.

Интересный герб создала Республика Коми — это золотая хищная птица, на груди которой изображено лицо женщины, а по бокам — шесть голов лосей без рогов. Символика этого герба изложена очень подробно. Автор проекта А.Неверов «взял

за основу <...> образ птицы, исходя из того, что именно она является олицетворением государственности и власти, призванной охранять Родину и народ, способность их к развитию и процветанию. Как художник хотел придать ее взгляду энергичный целеустремленный характер. Она словно на взлете, а упругими крыльями как бы охватывает республику, защищая от бед. В то же время широкая распахнутость крыльев — это и гостеприимство, и приглашение к добрым делам, к сотрудничеству». Даже поджатые лапки птицы «знак того, что все богатство республика надежно держит у себя, зря не растратит. Помещенный же в центре изображения лик женщины олицетворяет <...> Родину». Это золотая женщина-солнышко, жизнерадостная богиня, мать мира, хранительница всего доброго и святого. А лоси делают шире размах ее крыльев.

Очевидно, прототипом этого герба послужили некоторые литые бронзовые изображения (образцы так называемого пермского звериного стиля), которые археологи находят в Прикамском районе. Предполагается, что они созданы еще в 1-м тысячелетии н.э. финно-угорскими племенами, обитавшими в этих краях, и использовались как идолы или амулеты. Одна из этих бронзовых фигу-

рок отличается от герба Коми только наличием трех птичьих голов. Птица с человеческим лицом на животе символизировала, по языческим представлениям, душу покойника, уносящуюся в верхний мир, но составители герба внесли в этот образ совсем иной смысл [6].

Белый крылатый барс с круглым щитом на боку изображен на гербе Республики Татарстан. Разъясняется это следующим образом. Барс был тотемом предков казанских татар и государственным символом Великой Булгарии. Крылья характеризуют его как существо божественное, а щит означает защищенность республики в правовом, экономическом и силовом отношении.

Заслуживает особого упоминания и герб г.Казани. Еще в языческие времена в легендах казанских татар (вернее, волжских булгар) существовал добрый дракон-оберег Зилант. Он выступал в роли домашнего духа, охраняющего кров, заботился о благополучии хозяина и защищал его имущество. Зиланта описывают как полиморфное существо, наделенное следующими чертами: «рога оленя (сайгака, лося), глаза зайца, голова волка (собаки, лошади, верблюда), крылья и когти птицы (орла), тело и лапы барса (тигра), хвост змеи». В 1730 г. Зилант стал гербом города, но его образ был сильно искажен и принижен — мы видим

птицу с крыльями летучей мыши, что придает ему сходство со зловещим, убивающим своим взглядом, василиском [7].

Стиль новых гербов более лаконичен, чем в средние века, но некоторые (например, Казахстана и Узбекистана) слишком перегружены разными деталями. Обращает также на себя внимание факт, что в гербах многих мусульманских государств представлены звери, птицы и химеры, хотя ислам запрещает изображение животных. В некоторых, составленных вопреки религиозным догмам, используются эмблемы далекого доисламского прошлого, что придает им особый исторический колорит. ■

Литература

1. Арсеньев Ю.В. Геральдика. Ковров, 1997.
2. Сапрыков В. // Наука и жизнь. 1994. №5. С.32—38.
3. Демин В.Н. Тайны русского народа. М., 2000.
4. Бурков В.Г. Государственные эмблемы и символы стран Содружества Независимых Государств и Балтии. СПб., 1998.
5. Сапрыков В. // Наука и жизнь. 1994. №1. С.23—24.
6. Оборин В.А., Чагин Г.Н. Чудские древности Рифея: Пермский звериный стиль. Пермь, 1988.
7. Хафизов Д. // Казань. 1999. №5—6. С.130—135.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
П.А.ХОМЯКОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредители:
Президиум РАН,
Издательско-производственное
и книготорговое
объединение «Наука»
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
Подписано в печать 15.01.2003
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 6970
Набрано и сверстано в редакции

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