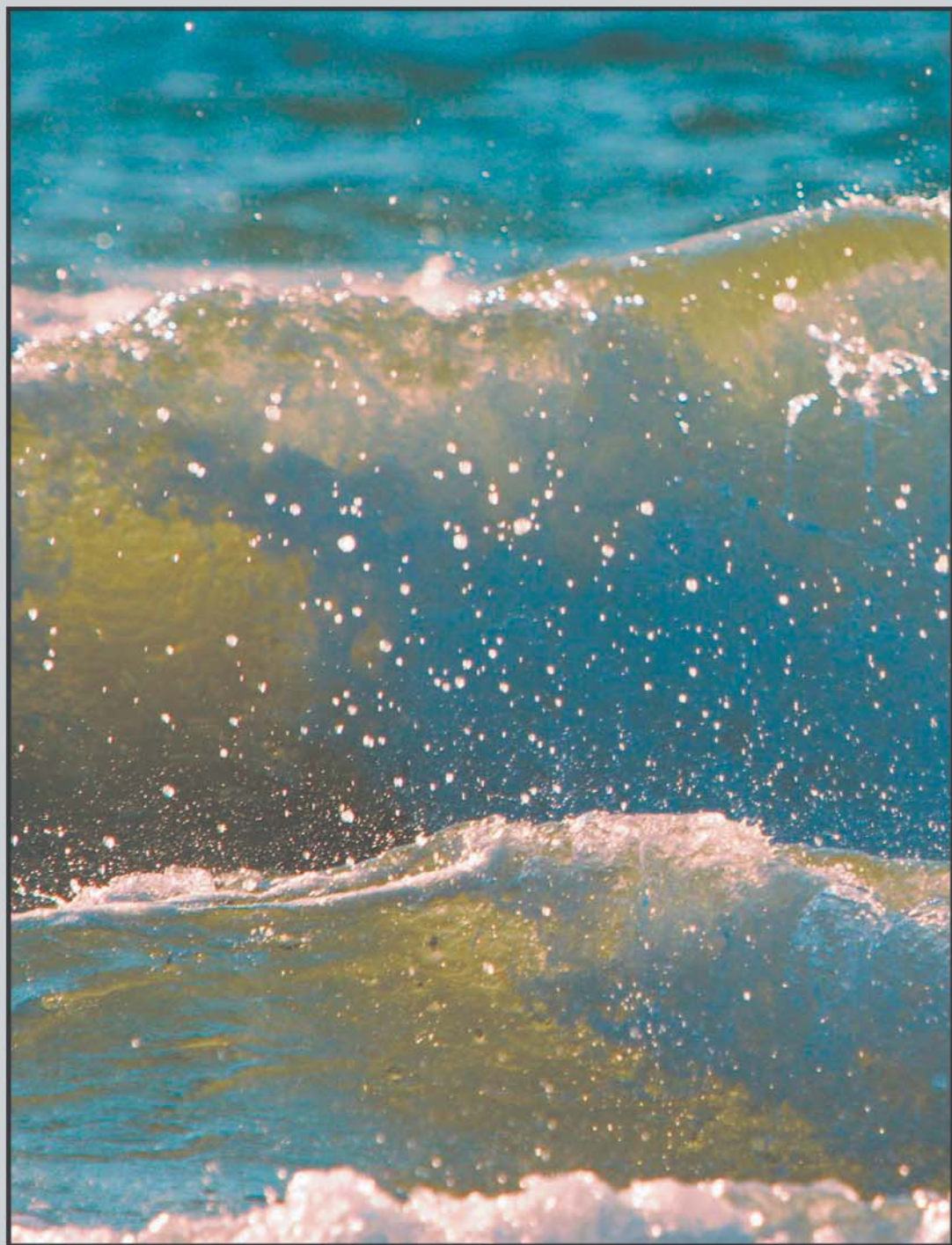


ПРИРОДА

3 07



В НОМЕРЕ:**3 30 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РАН****Деришев Е.В., Железняков В.В.,
Корягин С.А., Кочаровский В.В.****Релятивистские джеты
в астрофизике (4)****Пелиновский Е.Н., Слюняев А.В.****«Фрики» —
морские волны-убийцы (14)****Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю.****Загадки атмосферного
электричества (24)****33 Калейдоскоп**

Биоразнообразие Амазонии в миоцене (33). Тайные захоронения слонов (33). Робот-геккон (58). Полярные льды на Земле формировались синхронно (58). «Бизнес в прохладе» (59). «Могила рыкающих львов» (59). Темп таяния ледниковых покровов (59). Сверхточное зондирование атмосферы (59). Медузы вытесняют рыб (59). Озеро Чад усыхает (68). Глубоководная обсерватория «МОМАР» (68).

**34 Котляков В.М., Саруханян Э.И.
Международный полярный год
2007–2008**

Грандиозный проект, предусматривающий междисциплинарные научные исследования в полярных регионах нашей планеты, скоординированные на международном уровне, открывается 1 марта 2007 г.

**41 Левицкий М.М., Рабкина А.Ю.,
Биляченко А.Н.****Тысячелетия,
спрессованные в минуты**

Результаты интересной, хотя, на первый взгляд, достаточно будничной химической работы, привели к неожиданному выводу — процессы, которые происходят за короткое время в «пробирке», сходны с теми, что протекают в земной коре тысячами.

Заметки и наблюдения**49 Булавинцев В.И.****На глухарином току****52 Киселев Ф.Л., Боринская С.А.****Вакцина против рака —
первые успехи**

Доказательства роли вирусной инфекции в развитии рака шейки матки и знание молекулярно-генетических механизмов этого процесса привели к созданию эффективной противоопухолевой вакцины.

**60 Бабошкина С.В., Горбачев И.В.,
Пузанов А.В.****Тяжелые металлы в природных
и техногенных ландшафтах Алтая**

В результате добычи и переработки полезных ископаемых природные ландшафты замещаются особыми техногенными системами, представляющими собой мощный источник загрязнения окружающей среды токсичными элементами.

Научные сообщения**66 Басов И.А., Рубаник Н.К.****Плато Демерара —
свидетель древней истории
тропической Атлантики**

207-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

Возвращение**69 Сорокина М.Ю.****«В Каноссу!», или Как Сергей
Чахотин вернулся на родину****78 Новости науки**

В эллиптических галактиках все-таки есть темное вещество. **Вибе Д.З.** (78). Необычная пара коричневых карликов в Орионе (78). Семейство транснептунового астероида (79). Структура твердого кислорода (80). Эластичные композиты на основе глины (80). Углеродные нанотрубки в дамасской стали (80). Выбор места для кладки с использованием чужого опыта. **Семенов Д.В.** (81). Ген, контролирующий рост волос (81). Активные разломы и предвестники землетрясений (82). Атмосферная обсерватория в Тикси. **Бурлаков Ю.К.** (83). Доступ к «основам основ» физики открыт (83).

Коротко (65)

Рецензии**84 Миркин Б.М., Розенберг Г.С.****Бумеранг судьбы
Олега Гребенщикова****88 Новые книги****В конце номера****89 Преображенская М.А., Саватюгин Л.М.****Скалы Восьмого марта,
или Женские имена на карте
Антарктики**

CONTENTS:

3 30TH ANNIVERSARY OF INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS RAN

Derishev E.V., Zheleznyakov V.V., Koryagin S.A., Kocharovskiy V.I.V.

Relativistic Jets in Astrophysics (4)

Pelinovsky E.N., Slunyaev A.V.

«Freak Waves», or Sea Killer Waves (14)

Mareev E.A., Trakhtengerts V.Yu.

Puzzles of Atmospheric Electricity (24)

33 **Kaleidoscope**

Biodiversity of Amazon Basin in Miocene (33). Secret Elephant's Burial Places (33). Gecko Robot (58). Polar Glaciations Were Formed Simultaneously (58). «Cool Business» (59) «Tomb of Roaring Lions» (59) Precision Atmosphere Sounding (59) Jellyfishes Replace Fishes (59) Lake Chad Is Drying Out (68). Deep Water Observatory «MOMAR» (68).

33 **Kotlyakov V.M., Saruhanyan E.I. International Polar Year 2007–2008**

A vast project of interdisciplinary scientific studies in polar regions of our planet, coordinated at international level, starts 1 March 2007.

41 **Levitsky M.M., Rabkina A.Yu., Bilyachenko A.N.**

Millennia Compacted in Minutes

Results of interesting though at first blush rather mundane chemical study brought about an unexpected conclusion: the processes that take a short time «in a test tube» are similar to those that in Earth crust can last millennia.

Notes and Observations

49 **Bulavintzev V.I. At Wood Grouse Display Ground**

52 **Kiselev F.L., Borinskaya S.A.**

Vaccina Against Cancer: The First Successes

Proofs of the role of viral infection in development of cervical cancer and knowledge of molecular genetic mechanisms of this process brought about creation of effective anti-tumor vaccine.

60 **Baboshkina S.V., Gorbachev I.V., Puzanov A.V.**

Heavy Metals in Natural and Man-caused Landscapes of Altai

In result of mining, quarrying and processing of minerals the natural landscapes are replaced by specific man-made systems which are powerful sources of environment pollution by toxic chemical elements.

Scientific communications

66 **Basov I.A., Rubanic N.K.**

Demerar Plato: Witness of Geologic History of Tropic Atlantic

207th Expedition of «JOIDES Resolution»

Home-Coming

69 **Sorokina M.Yu.**

«To Canossa!», or How Sergey Chakhotine Returned Home

78 **Scientific News**

Elliptic Galaxies Indeed Contain Dark Matter. **Wiebe D.Z.** (78). Unusual Pair of Brown Dwarves in Orion. (78). Family of Trans-Neptunian Asteroid (79). Structure of Solid Oxygen (80). Elastic Composite Materials Based on Clay (80). Carbon Nanotubes in Damascus Steel (80). Choice of Place for Oviposition Drawing on Other's Experience. **Semenov D.V.** (81). The Gene Controlling Hair Growth. (81). Active Breaks and Earthquake Precursors (82). Atmospheric Observatory at Tiksi. **Burlakov Yu.K.** (83). Access to «Basis of Basis» of Physics is Open (83). **In Brief (65)**

Book Reviews

84 **Mirkin B.M., Rosenberg G.S. Boomerang of Oleg Grebenshchikov's Destiny**

88 **New Books**

In the End of Issue

89 **Preobrazhenskaya M.A., Savatyugin L.M. Eight of March Rocks, or Women's Names on Antarctic Map**

Природа волн — волнующий предмет, В ее единстве главный скрыт секрет...



30 лет Институту прикладной физики РАН

В апреле этого года исполняется 30 лет Институту прикладной физики РАН (Нижний Новгород) — одному из ведущих академических институтов физического профиля. Основателем и первым директором ИПФ РАН более четверти века был академик А.В.Гапонов-Грехов. В 2003 г. институт возглавил член-корреспондент РАН А.Г.Литвак, позднее избранный действительным членом РАН.

Рождение ИПФ РАН, открывшее «академическую» страницу в истории нижегородской физики, стало естественным продолжением (начиная с 30-х годов) становления и развития в Нижнем Новгороде (тогда — Горьком) радиофизики и радиоэлектроники. Важнейшими вехами этого процесса были создание в Горьковском государственном университете в 1945 г. первого в стране радиофизического факультета, а в 1956 г. — Научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ) Минвуза РСФСР. Общий подход к колебаниям и волнам различной физической природы, изначально положенный в основу формирования радиофизики, обеспечил эффективное сотрудничество специалистов, изучающих электромагнитные и акустические волны, динамику океана и атмосферы, стохастическую динамику неравновесных систем и турбулентность, многие другие процессы. В 1977 г. на базе ряда отделов НИРФИ был образован ИПФ РАН — институт широкого профиля, сочетающий фундаментальные и прикладные исследования в таких направлениях, как физика плазмы, электроника больших мощностей, квантовая электроника, гидрофизика, гидроакустика, физическая акустика, физика атмосферы, астрофизика, нелинейная динамика. Объединяющая все эти направления колебательно-волновая проблематика, обеспеченность прикладных работ фундаментальным научным заделом и развитой инженерно-производственной инфраструктурой, многоуровневая и взыскательная система подготовки научной молодежи — вот главные составляющие модели крупного академического института, реализованной в ИПФ РАН. Эта модель показала свою жизнеспособность в трудные для российской науки 90-е годы и служит прочной основой для динамичного развития Института в настоящее время.

Немало работ сотрудников ИПФ РАН получили широкое признание в мировом сообществе, отмечены высокими научными наградами. К примеру, разрабатываемые в Институте мощные генераторы миллиметрового диапазона — гиротроны — и полученные с их использованием результаты по взаимодействию мощного электромагнитного излучения с плазмой и обычным веществом широко применяются в исследованиях в области управляемого термоядерного синтеза, дают возможность развивать новые технологии в физике СВЧ-разряда, плазмохимии и обработке материалов. Работы по повышению мощности источников СВЧ-излучения привели к созданию нового научного направления — микроволновой релятивистской электроники. Пионерские исследования по нелинейной акустике позволили разработать новые высокочувствительные методы неразрушающего контроля и дефектоскопии, в области низкочастотной акустики океана — создать уникальные излучающие и приемные комплексы для дистанционного зондирования океана. Фундаментальные результаты по нелинейной и адаптивной оптике послужили, в свою очередь, основой для создания мощных лазерных систем различного назначения, в том числе фемтосекундных лазерных комплексов субпетаваттного уровня мощности.

Важнейшую роль в развитии этих и других направлений, а также в быстром росте квалификации молодых ученых и передаче им накопленной «волновой культуры» играют ведущие научные школы ИПФ РАН. Среди них — научные школы академиков В.В.Железнякова, А.Г.Литвака, В.И.Таланова, членов-корреспондентов РАН В.А.Зверева и А.М.Сергеева.

Многие из научных направлений ИПФ РАН сегодня тесно связаны с изучением и дистанционной диагностикой различных природных сред и объектов, в числе которых — астрофизическая и геофизическая плазма, гидросфера и атмосфера Земли, земные породы, биологические ткани, различные искусственные материалы и инженерные конструкции. Некоторые из этих исследований представлены в предлагаемых вниманию читателя статьях.

Релятивистские джеты в астрофизике

Е.В.Деришев, В.В.Железняков, С.А.Корягин, Вл.В.Кочаровский

Плазменное состояние вещества, свойства которого определяются движением и излучением несвязанных электрически заряженных частиц (электронов, позитронов, протонов, ионов и др.), не просто создать в лабораториях, но оно является типичным в космических условиях — и в звездах, и в межзвездной среде. В Институте прикладной физики РАН исследуются свойства как лабораторной, так и космической плазмы. Основное внимание здесь уделяется механизмам генерации и эффектам распростране-

ния излучения — от радио до гамма-диапазона — в магнитосферах планет, звезд и других астрофизических объектов. Вблизи компактных объектов, например черных дыр, нейтронных звезд или коллапсирующих ядер массивных звезд, условия существования плазмы экстремальны. Она может быть сильно неравновесной, создавать мощные электромагнитные поля, а ее собственное движение, как и относительное движение составляющих ее частиц, может оказаться релятивистским, т.е. характеризоваться скоростями, близкими к скорости света в вакууме. Подобная плазма часто наблюдается в виде струйных выбросов, называемых джетами (от англ. jet).

© Деришев Е.В., Железняков В.В., Корягин С.А., Кочаровский Вл.В., 2007

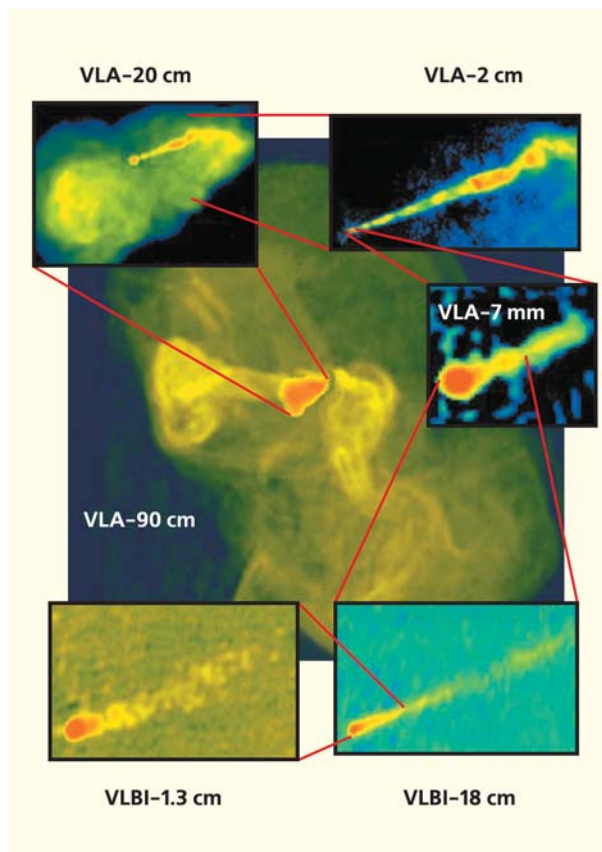
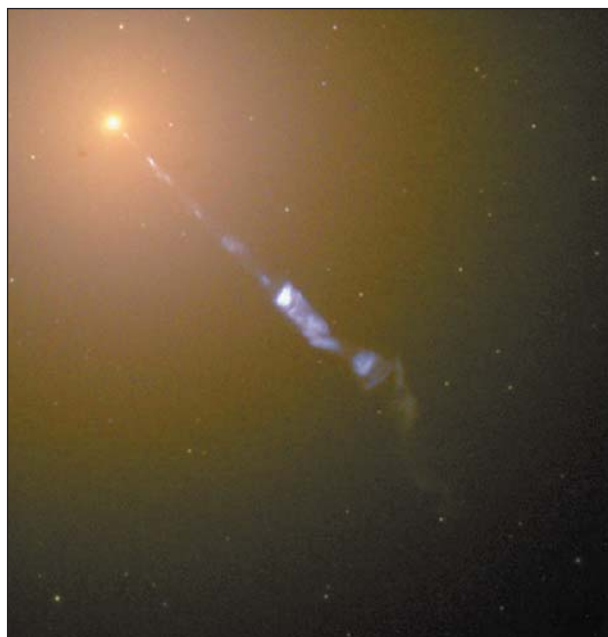


Рис.1. Джет в галактике М87. Оптическое изображение, полученное космическим телескопом «Хаббл» (слева), и радиоизображения, полученные радиотелескопами VLA и VLBI (справа).

Салютуют черные дыры

Наша Галактика находится на окраине типичного скопления галактик, в центре которого располагается большая эллиптическая галактика M87. Еще в начале прошлого века астроном Х.Куртис разглядел на правильном эллиптическом профиле M87 «странный прямой луч». Позднее выяснилось, что луч представляет собой струю, или джет, бьющую из центра галактики. Великолепное оптическое изображение этого джета было получено космическим телескопом «Хаббл» (рис.1). Наилучшим образом джет виден в радиодиапазоне, где не мешает излучение звезд. Джет просматривается начиная с расстояния порядка парсека от центра M87, сравнимого с дистанцией между звездами, вплоть до нескольких десятков килопарсеков, что даже больше диаметра галактики. Радиоизображения свидетельствуют о наличии двух джетов, вытекающих в противоположные стороны. Джеты снабжают высокоэнергичными частицами широко разнесенные протяженные области радиоизлучения. Линейный размер последних превышает диаметр звездной составляющей галактики, видимой в оптическом диапазоне. Именно эти области дают основной вклад в общее мощное радиоизлучение M87, благодаря которому ее относят к радиогалактикам.

Подобные галактики имеют активные ядра, среди которых астрономы выделяют несколько типов [1–4]. Тип определяется как степень активности ядра, так и ориентацией его структурных элементов (рис.2) относительно луча зрения. Излучение активного ядра составляет заметную долю излучения остальной части галактики, а в квазарах даже превышает этот уровень.

Мощное излучение активных ядер галактик связано с аккрецией, т.е. падением вещества (газа) на их центральную часть.



Евгений Владимирович Деришев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела астрофизики и физики космической плазмы ИПФ РАН. Работает в области теории нетеплового излучения космической плазмы, физики черных дыр и нейтронных звезд, физики космических лучей.



Владимир Васильевич Железняков, академик, доктор физико-математических наук, заведующий отделом астрофизики и физики космической плазмы ИПФ. Лауреат премии им.А.А.Белопольского АН СССР (1984). Область научных интересов — радиоизлучение Солнца, физика космической плазмы, астрофизика высоких энергий.



Сергей Александрович Корягин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же отдела. Лауреат Государственной премии РФ для молодых ученых (2003). Занимается исследованиями космической плазмы, генерации и переноса излучения на магнитных белых карликах и нейтронных звездах, излучения активных ядер галактик.



Владимир Владиленович Кочаровский, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, заведующий сектором плазменной астрофизики ИПФ. Работы связаны с плазменной астрофизикой, физикой конденсированного состояния вещества, лазерной физикой, классической и квантовой электродинамикой.

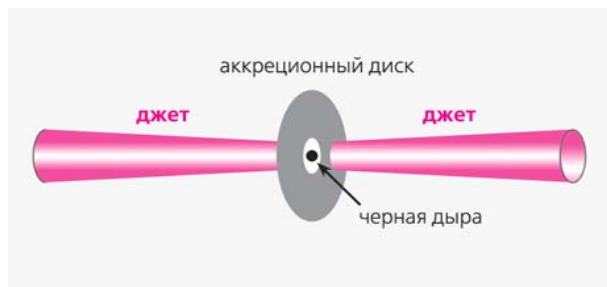


Рис.2. Основные структурные элементы активного ядра галактики и микроквара: джеты, аккреционный диск и центральная черная дыра.

По современным представлениям, там должна находиться сверхмассивная черная дыра с массой, достигающей миллиардов масс Солнца. Падающее на черную дыру вещество разогревается, ионизируется и образует так называемый аккреционный диск. В диске вещество (плазма) движется практически по круговым орбитам и, медленно перемещаясь с одной орбиты на другую, приближается к черной дыре. Из центральной части галактики бьют две симметричные плазменные струи — джеты. Таким образом, черная дыра, аккреционный диск и пара джетов — основные структурные элементы активного ядра галактики. Джеты излучают в широком диапазоне длин волн: от радио- до рентгеновского и даже гамма-диапазона.

В радиодиапазоне, где наблюдается большинство джетов, преобладает синхротронное излучение электронов и, возможно, позитронов, если последние также присутствуют в джете. Синхротронное излучение — это электромагнитное излучение релятивистских заряженных частиц, которое обусловлено их вращением в магнитном поле и имеет характерные частоты, пропорциональные квадрату энергии частиц. Поскольку в джете есть электроны с самой разной энергией, его синхротронное излучение распределено в очень широком интервале частот, допускающем наблюдения самыми различными приборами.

Электромагнитное излучение помимо интенсивности характеризуется также направлением электрического поля в волне, или поляризацией. В синхротронном излучении электрическое поле направлено перпендикулярно статическому магнитному полю, в котором вращается электрон. Поэтому по поляризации наблюдаемого радиоизлучения джета можно определить направление магнитного поля в нем. В ряде случаев оказалось, что магнитное поле джета имеет винтовую структуру.

Излучение многих активных ядер галактик сосредоточено на очень высоких частотах — в гамма-диапазоне. Здесь оно обусловлено рассеянием относительно низкочастотного излучения на высокоэнергичных (релятивистских) электронах (обратный эффект Комптона). Энергия на гамма-

излучение в основном берется из энергии электронов, а не из низкочастотного излучения, поэтому поток гамма-излучения может сильно превышать поток излучения на низких частотах. К данному вопросу мы еще вернемся ниже, обсуждая механизмы излучения джетов.

Большая часть джетов, видимых в активных ядрах галактик, направлена на наблюдателя (такие объекты называют блазарами). На самом деле это результат наблюдательной селекции: видимая яркость релятивистского джета сильно возрастает для того наблюдателя, чей луч зрения близок к его оси, позволяя регистрировать более далекие — и более многочисленные — объекты. Данный эффект обусловлен релятивистской aberrацией света и имеет место для излучения, порождаемого высокоэнергичными частицами, которые движутся вместе с плазмой джета и в ее системе отсчета распределены по скоростям изотропно. Однако в гамма-диапазоне излучение джетов можно видеть и под большим углом к их оси (см. ниже).

Яркая особенность джетов, за которую их называют релятивистскими, — высокая скорость движения v , близкая к скорости света c , так что соответствующий лоренц-фактор $\Gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ много больше единицы. Это проявляется в кажущемся «сверхсветовом» разлете отдельных частей джета относительно неподвижного ядра [2, 5]. Конечно, на самом деле джет не движется со скоростью больше скорости света. Просто для релятивистских объектов обычная методика расчета скорости их перемещения по небесной сфере, не учитывающая конечной величины c , дает завышенные во много раз значения. Эффект «сверхсветового» разлета регистрируется в джетах, движущихся к наблюдателю под малым углом к лучу зрения; его происхождение объяснено на рис.3.

В 1992 г. в нашей Галактике был обнаружен объект GRS1915+105, удивительно напоминающий квазар и имеющий несимметричные джеты, яркие пятна в которых движутся со «сверхсветовой» скоростью [5]. Объект считается аккрецирующей черной дырой в составе двойной звездной системы. Сейчас известно более десяти подобных систем (их относят к классу так называемых рентгеновских двойных, причем роль аккрецирующей компоненты может играть и нейтронная звезда) [6]. По своему строению они похожи на активные ядра галактик, однако масса черной дыры в них составляет лишь несколько масс Солнца, и источником аккрецируемого вещества служит не межзвездный газ, а соседняя звезда-компаньон. Ввиду своего внешнего сходства с квазарами (при огромной разнице в размерах) такие объекты называли микрокварами. Для них также характерны плазменные выбросы в виде джетов и мощное электромагнитное излучение в диапазоне от радиоволн до рентгеновских лучей.

Джеты интенсивно взаимодействуют с межзвездной и межгалактической средой. Места столк-



Рис.3. Измерение скорости объекта, движущегося в сторону наблюдателя. Если источник излучения посылает нам световые импульсы из двух последовательных точек 1 и 2 на своем пути в моменты времени t_1 и t_2 , то его истинная скорость движения поперек луча зрения равна $v_{\perp} = L_{\perp}/(t_2 - t_1)$. Скорость же перемещения видимого на Земле изображения равна отношению L_{\perp} к интервалу времени $t'_2 - t'_1$ между моментами приема сигналов на Земле: $v_{\perp, \text{obs}} = L_{\perp}/(t'_2 - t'_1)$. Если источник смещается в сторону Земли почти с той же скоростью, что и свет, то интервал $t'_2 - t'_1$ оказывается значительно короче, чем интервал $t_2 - t_1$. Указанное различие временных интервалов и приводит к кажущейся «сверхсветовой» скорости разлета.

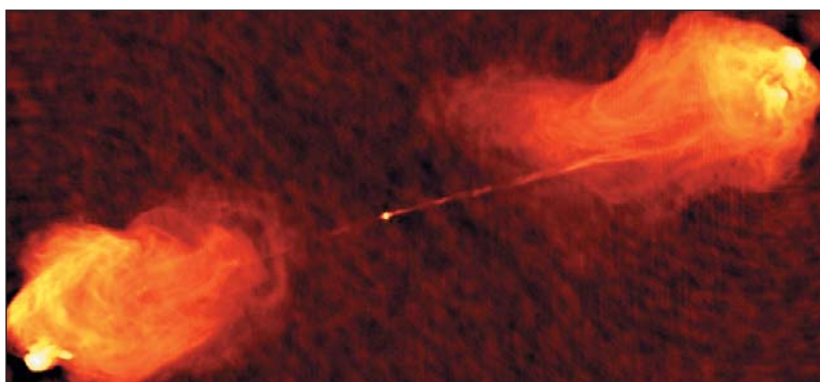
новения джета с межгалактической средой отличаются повышенной яркостью и видны как яркие точки в вершинах протяженных областей радиоизлучения (рис.4).

Совершенно иной пример релятивистских джетов дают источники гамма-всплесков [7]. В этом случае джеты никогда не наблюдались, а их существование следует из косвенных, хотя и весьма убедительных, аргументов. Природа данных источников достоверно не известна. Однако доказано, что они расположены на расстояниях, сравнимых с размерами видимой части Вселенной, и что за время типичного всплеска (несколько десятков секунд) должна выделяться энергия, сравнимая с энергией покоя Солнца (и это только в виде гамма-излучения!). Наиболее популярная модель связывает образование гамма-всплесков с быстрой аккрецией звездного вещества на черную дыру, возникающей при катастрофическом сжатии (коллапсе) ядра сверхновой. Их колоссальная наблюдаемая светимость (порядка 10^{50} – 10^{52} эрг/с), на первый взгляд, не согласуется с малыми размерами источника: плотность фотонов в нем настолько высока, что они, взаимодействуя друг с другом, должны породить непрозрачное облако электрон-позитронных пар. Эту трудность

можно преодолеть, если предположить, что к наблюдателю с релятивистской скоростью движется узкий излучающий джет. Тогда резко снижаются требования к величине светимости источников гамма-всплесков, удастся объяснить многие свойства наблюдаемого излучения от гамма- до радиодиапазона, а также понять происхождение высокоэнергичных частиц, создающих это излучение (об этом чуть дальше).

В настоящее время не существует общепринятой точки зрения на механизм формирования джетов. Есть по крайней мере два качественно различных сценария. Первый вариант — джет формируется над аккреционным диском на большом расстоянии от черной дыры. Его рождает часть вещества аккреционного диска, которая не попадает в близкую окрестность черной дыры и выбрасывается благодаря магнитному полю в виде струи. В таком случае вещество джета почти не отличается по составу от вещества аккреционного диска и звезд — оно состоит из электронов и ионов (в основном протонов). Второй вариант — джет формируется вблизи черной дыры, которая полностью захватывает вещество аккреционного диска: джет образуют электрон-позитронные пары, возникающие в магнитосфере черной

Рис.4. Столкновение джетов радиогалактики Лебедь А с межгалактической средой. Изображение получено на телескопах Национальной радиоастрономической обсерватории в США (NRAO/AUI/NSF).



дыры, а энергия черпается из энергии вращения черной дыры, например посредством магнитного поля [4]. Вообще роль магнитного поля в формировании системы «аккреционный диск — джеты» трудно переоценить. Скорее всего, именно оно ответственно за отток момента импульса вещества в процессе аккреции, за образование узконаправленных потоков плазмы и за устойчивость джетов. Однако современный уровень знаний еще не позволяет указать действующие здесь конкретные механизмы, выяснить происхождение и структуру магнитного поля, характер течения плазмы внутри и вне джетов и многое другое.

Итак, в принципе возможны как «тяжелые» джеты из электронов и протонов (т.е. «обычной» плазмы), так и «легкие» джеты из электрон-позитронной плазмы. Поэтому так важно знать корпускулярный состав джетов — от него зависит выбор одного из двух указанных сценариев или какой-то их комбинации.

Из чего состоят джеты?

Решить фундаментальную проблему корпускулярного состава релятивистских джетов могут помочь радиоастрономические исследования этих объектов [8—10]. Известно, что синхротронное излучение отдельных электронов и позитронов обладает очень высокой степенью линейной поляризации (порядка 70%) и пренебрежимо малой степенью круговой поляризации. При этом поляризации излучения частиц обоих видов практически одинаковы. Но поляризация наблюдаемого излучения джета зависит и от характера электромагнитных волн в плазме. Например, в обычной электрон-протонной плазме плоскость поляризации излучения будет испытывать так называемое фарадеевское вращение по пути распространения, тогда как в электрон-позитронной плазме эффект Фарадея отсутствует. Таким образом, состав плазмы в джете может существенно влиять на поляризацию его радиоизлучения.

Окончательные выводы о корпускулярном составе джета можно сделать, только зная поляризацию его радиоизлучения по всему частотному спектру. К сожалению, столь детальные исследования пока вне возможностей современных радиоастрономических средств. Сегодня приходится комбинировать имеющиеся сведения о поляризации на отдельных частотах и о спектральной интенсивности радиоизлучения [10].

Интерферометрические радионаблюдения показывают, что в основании джет представляет собой последовательность отдельных ярких компонент, и позволяют вычислить их параметры — яркостную температуру и угол поворота плоскости поляризации излучения. За угол поворота принимают разность углов между плоскостями поляризации при переходе от данной частоты к более

высоким частотам, где эффект Фарадея заведомо мал. Характерные значения угла поворота — порядка градуса, а яркостной температуры — порядка 10^{10} К.

В состав плазмы джета могут входить три фракции — «холодные» (нерелятивистские) электроны и протоны, релятивистские электроны и релятивистские позитроны. Разность общих электрических зарядов электронов и позитронов компенсируется протонами.

Идея определения состава плазмы основана на том, что интенсивность излучения источника в джете зависит от суммы концентраций релятивистских электронов и позитронов, но не от концентрации холодной фракции. Угол поворота, напротив, задается разностью концентраций релятивистских электронов и позитронов (частицы с разными знаками заряда вращают плоскость поляризации в разные стороны) и весьма чувствителен к концентрации нерелятивистских электронов. Так, при равной концентрации релятивистских и нерелятивистских электронов именно последние играют главную роль в повороте плоскости поляризации.

Анализ состава плазмы удобно провести с помощью диаграмм, представленных на рис.5. Диаграммы построены для двух предельных случаев: присутствуют только холодная фракция и релятивистские электроны (но без позитронов) или холодная фракция сочетается с релятивистскими электрон-позитронными парами. Данные наблюдений, о которых шла речь, ограничивают области допустимых параметров плазмы в джете. Верхняя граница этих областей определяет максимальное возможное относительное содержание холодных электронов в джете. С ростом яркостной температуры излучения эта граница опускается вниз, а с увеличением угла поворота поляризации поднимается вверх. Отсюда ясно, что высокое содержание релятивистских частиц следует ожидать в ярких джетах с малым углом поворота плоскости поляризации.

В случае электрон-протонного состава плазмы (без позитронов) при фиксированных яркостной температуре и угле поворота плоскости поляризации возможные значения магнитного поля ограничены снизу. Удовлетворить наблюдениям при более слабых магнитных полях можно, только заменив часть релятивистских электронов на позитроны. О величине магнитного поля можно судить по наблюдаемой частоте максимума интенсивности синхротронного излучения джета.

Для примера укажем, что относительное содержание холодных электронов в джетах двух внегалактических источников — квазара 3C279 и объекта VL Ящерицы — очень низкое, порядка одного процента и меньше, т.е. плазма является релятивистской. Вместе с тем данные радионаблюдений квазара 3C279 допускают наличие в его джете как обычной электрон-протонной, так

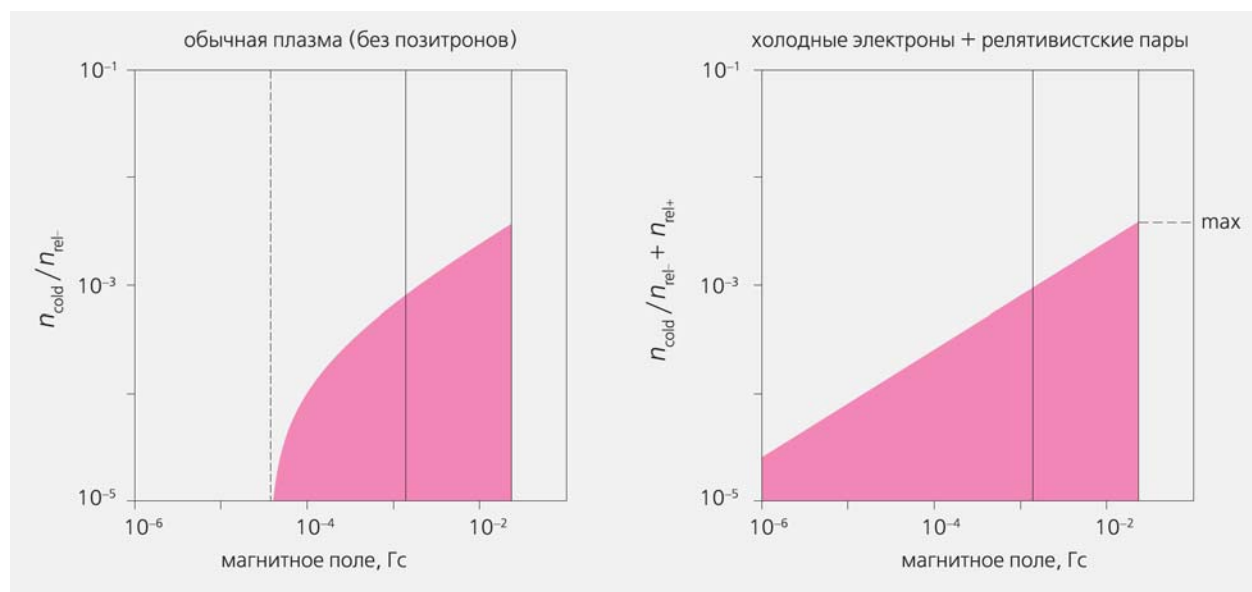


Рис.5. Диаграммы на плоскости параметров «магнитное поле—содержание холодных электронов n_{cold} по отношению к релятивистским частицам» для квазара 3C279: слева — для обычной плазмы из электронов ($n_{\text{rel-}}$) и протонов (но без позитронов), справа — для плазмы из релятивистских электрон-позитронных пар ($n_{\text{rel-}} + n_{\text{rel+}}$) и фракции холодных электронов. Цветом выделены области параметров, соответствующих данным радионаблюдений. Вертикальная сплошная линия обозначает величину магнитного поля, полученную по наблюдаемой частоте максимума интенсивности синхротронного излучения. Штриховая линия определяет минимальное магнитное поле, при котором обычный состав джета удовлетворяет экспериментальным данным.

и электрон-позитронной плазмы. В джетах объекта другого класса — микроквазара GRS1915+105 в нашей Галактике — концентрация холодных электронов может существенно превышать концентрацию релятивистских частиц.

Как частицы ускоряются

Источником наблюдаемого излучения джетов, повторим, служит высокоэнергичная фракция электронов (и позитронов в случае электрон-позитронной плазмы). Она возникает в результате передачи энергии заряженным частицам, т.е. их ускорения, посредством электромагнитных полей в неоднородной и нестационарной плазме. Важнейшую роль здесь играют крупномасштабные неоднородности плотности или скачки гидродинамической скорости плазмы, например в сдвиговых течениях и бесстолкновительных ударных волнах. Сдвиговые течения возникают в слоях, где джет граничит с прилегающим межзвездным веществом; ударные волны формируются в области торможения джета окружающей средой или даже внутри него [1, 3, 6, 8]. И те, и другие приводят к ускорению определенной (малой) доли заряженных частиц всех сортов.

Общая идея ускорения восходит к Э.Ферми; у нее отсутствуют сколько-нибудь обоснованные сильные конкуренты. Существует целый ряд ее ре-

ализаций в космической плазме, см., например, [11]. Поясним механизм ускорения на примере ударной волны в бесстолкновительной плазме, где заряженные частицы взаимодействуют между собой посредством неоднородного магнитного поля, создаваемого текущими в этой плазме токами. Магнитное поле «вморожено» в плазму по обе стороны от фронта ударной волны, на котором гидродинамическая скорость плазмы и ее плотность испытывают скачки. Для частицы с достаточно большой длиной свободного пробега (что означает — с достаточно большой энергией) прохождение через фронт подобно столкновению с движущейся стенкой. В зависимости от направления своего движения частицы могут как приобретать, так и терять энергию, однако в среднем энергия ускоряемых частиц возрастает. Точнее, продолжительное ускорение и значительный набор энергии происходят только для тех частиц, которые неоднократно пересекают фронт ударной волны. Такое ускорение аналогично нагреву газа в сосуде со сближающимися стенками — с той лишь разницей, что вторая стенка, которая отразила бы частицы обратно к фронту ударной волны, отсутствует, и ее заменяет неоднородное магнитное поле, обеспечивающее многократные рассеяния, т.е. диффузию частиц.

Ускорение продолжается до тех пор, пока потери энергии на излучение не сравняются с темпом ускорения или темп диффузии высокоэнер-

гичных частиц не станет слишком большим для удержания их в области фронта ударной волны. Первая причина типична для электронов, вторая — для протонов, которые тяжелее и излучают слабее. Темп ускорения частиц в нерелятивистской ударной волне увеличивается пропорционально квадрату ее скорости. Чем выше скорость — тем больше максимальная энергия ускоренных частиц, тем выше частота и больше мощность их излучения.

Однако в релятивистской ударной волне, скорость которой близка к скорости света, рассмотренный механизм ускорения оказывается неэффективным. Причин этому две. Во-первых, гидродинамическая скорость течения за фронтом релятивистской ударной волны равна одной трети скорости света, так что регулярный снос частиц преобладает над их диффузионным смещением и поэтому они практически не имеют шансов вернуться к фронту и продолжить ускорение. Во-вторых, при сжатии плазмы в ударной волне увеличивается параллельная фронту компонента в замороженного магнитного поля, тогда как перпендикулярная компонента остается неизменной. При этом дрейфовая скорость частиц, связанная с неоднородностью магнитного поля, направлена приблизительно параллельно фронту, а частицы движутся по циклоидам, не пересекающим его. До недавнего времени эти проблемы оставались нерешенными и не позволяли объяснить происхождение ускоренных частиц и, следовательно, мощное излучение релятивистских джетов.

Тем не менее эффективное ускорение частиц в релятивистских ударных волнах и сдвиговых течениях все же возможно [12]. Парадоксально, но главную роль здесь играет взаимодействие ускоренных частиц с фотонными полями в джетах,

которое обычно рассматривается лишь как помеха, дополнительный канал потери энергии. Дело в том, что при определенных условиях столкновения с фотонами можно трактовать как механизм случайного «выключения» и «включения» электрического заряда частиц. Проходя через фронт ударной волны и отражаясь от неоднородностей магнитного поля, заряженная частица увеличивает свою энергию, а затем, после встречи с фотоном, становится нейтральной, что позволяет ей вернуться к фронту без препятствий со стороны магнитного поля. Оказавшись перед ударной волной, частица вновь становится заряженной, так что весь цикл ускорения повторяется снова и снова (рис.6). Такой механизм ускорения частиц называется конверсионным; вычисления показывают, что он играет важнейшую роль в излучении и динамике релятивистских джетов [12, 13].

Разумеется, выключение и включение электрического заряда — это лишь условный способ описания происходящих процессов. Так, при рассеянии фотона на релятивистском электроном этот (незаряженный!) фотон с известной вероятностью будет двигаться в том же направлении, что и исходный электрон, и нести почти всю его энергию. Такой фотон, столкнувшись с относительно низкочастотным фотоном из поля излучения джета, породит заряженные высокоэнергичные электрон и позитрон, причем энергия поделится между ними примерно поровну. То обстоятельство, что в результате указанного электрон-фотонного цикла «выключения» и «включения» заряда количество ускоренных частиц удваивается, не играет принципиальной роли.

Аналогичная цепочка превращений существует и для протонов. Фотоны, энергия которых превышает 350 МэВ в системе покоя протона, могут

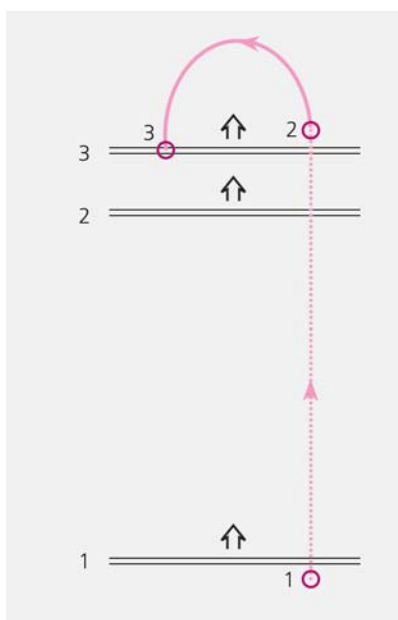


Рис.6. В конверсионном механизме ускорения частица покидает ударную волну, будучи нейтральной (момент времени 1), и движется прямолинейно до своего превращения в заряженную (момент 2). За это время частица обгоняет фронт ударной волны на некоторое расстояние, так что у нее появляется достаточный запас времени, чтобы развернуться в магнитном поле прежде, чем она будет вновь подхвачена ударной волной (момент 3). Положения частицы и фронта ударной волны в соответствующие моменты времени отмечены цифрами 1, 2 и 3.

возбуждать его внутренние (кварковые) степени свободы. Возбужденный адрон моментально распадается на нуклон и пион. Приблизительно в трети случаев образуется заряженный пион, а протон превращается в нейтрон. Обладая аналогичной кварковой структурой, нейтроны взаимодействуют с фотонами по той же схеме, т.е. переходят в протоны. Побочным продуктом протон-нейтронного цикла становятся высокоэнергичные заряженные пионы, распад которых приводит к появлению вторичных электронов и позитронов, а также нейтринного излучения.

Вероятность того, что конверсия частиц из заряженных в нейтральные и обратно происходит при взаимодействии с фотонами подходящей энергии и в правильной последовательности, много меньше единицы. С другой стороны, частица, прошедшая полный цикл ускорения (рис.6), увеличивает свою энергию приблизительно в Γ^2 раз, где Γ — лоренц-фактор ударной волны. Для джетов в активных ядрах галактик это составляет величину 10^2 – 10^3 , а для гамма-всплесков — от 10^4 до 10^6 . Суммарная энергия ускоренных частиц возрастает с каждым циклом, если произведение вероятности прохождения цикла на фактор увеличения энергии превосходит единицу. В итоге основной вклад приходится на те частицы, чья энергия близка к максимально достижимой. По оценкам, релятивистские джеты в гамма-всплесках и активных ядрах галактик в таком режиме ускорения способны обеспечить существование наблюдаемых космических лучей (протонов) вплоть до сверхвысоких энергий $\sim 10^{20}$ эВ.

Интересно отметить, что при конверсионном ускорении частицы достигают такой энергии всего за 2–4 прохода через фронт ударной волны. При обычном диффузионном ускорении для этого потребовалось бы много десятков проходов; соответственно умножаются и трудности реализации такого механизма. Пояснить различие можно следующим образом. Скорость частиц, покидающих релятивистскую ударную волну, в неподвижной системе отсчета направлена почти параллельно скорости ударной волны. Однако траектория заряженных частиц немедленно начинает искривляться под действием магнитного поля, и как только угол между скоростью частицы и направлением движения ударной волны становится порядка ее обратного лоренц-фактора, фронт волны догоняет убежавшую частицу и завершает цикл ускорения. Результатом цикла становится увеличение энергии частицы примерно вдвое. При конверсионном ускорении частица покидает ударную волну, будучи нейтральной, и движется прямолинейно до своего превращения в заряженную. За это время частица обгоняет фронт ударной волны на некоторое расстояние, так что у нее появляется достаточный запас времени, чтобы развернуться в магнитном поле прежде, чем она будет вновь подхвачена ударной волной. В итоге

конверсионный цикл ускорения увеличивает энергию частицы не вдвое, а в квадрат лоренц-фактора ударной волны раз.

Взгляд на джет со стороны

Отличительная черта конверсионного механизма ускорения — анизотропное (в системе отсчета джета) распределение по скоростям наиболее энергичных частиц. Анизотропно также и их рентгеновское и гамма-излучение, причем направлено оно преимущественно против движения джета. Это происходит потому, что максимально ускоренные частицы, возвращаясь в ударную волну (т.е. двигаясь ей навстречу), излучают большую часть своей энергии очень быстро, не успевая развернуться в магнитном поле джета. С учетом релятивистской абберации света неподвижный наблюдатель, регистрирующий наиболее энергичные фотоны, увидит весьма широкую диаграмму направленности излучения указанных частиц. Во всяком случае, она значительно шире, чем узкая диаграмма направленности для более низкочастотного излучения менее энергичных частиц, имеющих почти изотропное распределение по скоростям в сопровождающей джет системе отсчета. В результате излучение максимально ускоренных частиц, сосредоточенное в рентгеновском и гамма-диапазонах, можно наблюдать под большими углами к оси джета [14].

Это явление помогает понять, например, феномен запаздывающего жесткого излучения гамма-всплесков. Задержка в данном случае имеет геометрическую природу: обладая уширенной диаграммой направленности, указанное излучение приходит от более широкого сегмента сферической ударной волны, края которого находятся дальше от наблюдателя, чем центральная часть. Уширение диаграммы направленности может также объяснить регистрацию так называемых неидентифицированных источников жесткого гамма-излучения (большое количество таких источников обнаружено космическим телескопом EGRET в 1992–1994 гг.). Они, вероятно, связаны с теми квазарами, джеты которых ориентированы под большими углами к направлению на Землю и поэтому не создают заметного излучения в более низкочастотных диапазонах, где излучение джета является узконаправленным. Широконаправленным может быть и высокоэнергичное нейтринное излучение релятивистских джетов, сопровождающее распад пионов, которые образуются при неупругих столкновениях протонов и нейтронов. Стремительное развитие нейтринной, рентгеновской и гамма-астрономии позволяет надеяться на скорое обнаружение излучения, свойственного конверсионному механизму ускорения, и тем самым на выяснение физических условий в релятивистских джетах.

Подробнее о механизмах излучения

Среди многочисленных механизмов излучения высокоэнергичных электронов и позитронов в релятивистских джетах, как уже говорилось, основную роль играют синхротронное излучение и обратное комптоновское излучение, которое происходит за счет рассеяния низкоэнергичных фотонов высокоэнергичными частицами. Источником таких фотонов для комптоновского механизма может служить как излучение аккреционного диска, так и собственное синхротронное излучение ускоренных частиц джета.

Как правило, мощность синхротронного излучения релятивистских джетов настолько велика, что плотность его энергии сравнима с плотностью энергии магнитного поля. При этом комптоновский механизм вносит большой, а во многих случаях — определяющий вклад в полную мощность из-

лучения, так что само излучение правильнее называть синхротронно-комптоновским. Совместное действие обоих механизмов излучения приводит к появлению в спектрах активных ядер галактик двух далеко отстоящих по частоте компонент: низкочастотной, синхротронной (доли эВ — единицы МэВ) и высокочастотной, комптоновской (единицы ГэВ — десятки ТэВ). Можно ожидать, что комптоновская компонента присутствует и в спектрах гамма-всплесков (в диапазоне от единиц до сотен ТэВ), однако наблюдательных доказательств этому нет. Увидеть ее мешает сильное поглощение высокоэнергичных фотонов при взаимодействии с межгалактическим фоном оптического излучения: горизонт видимости для фотонов с энергией выше 100 ГэВ расположен ближе подавляющего большинства источников гамма-всплесков.

Вообще говоря, синхротронную и комптоновскую компоненты нельзя рассматривать незави-

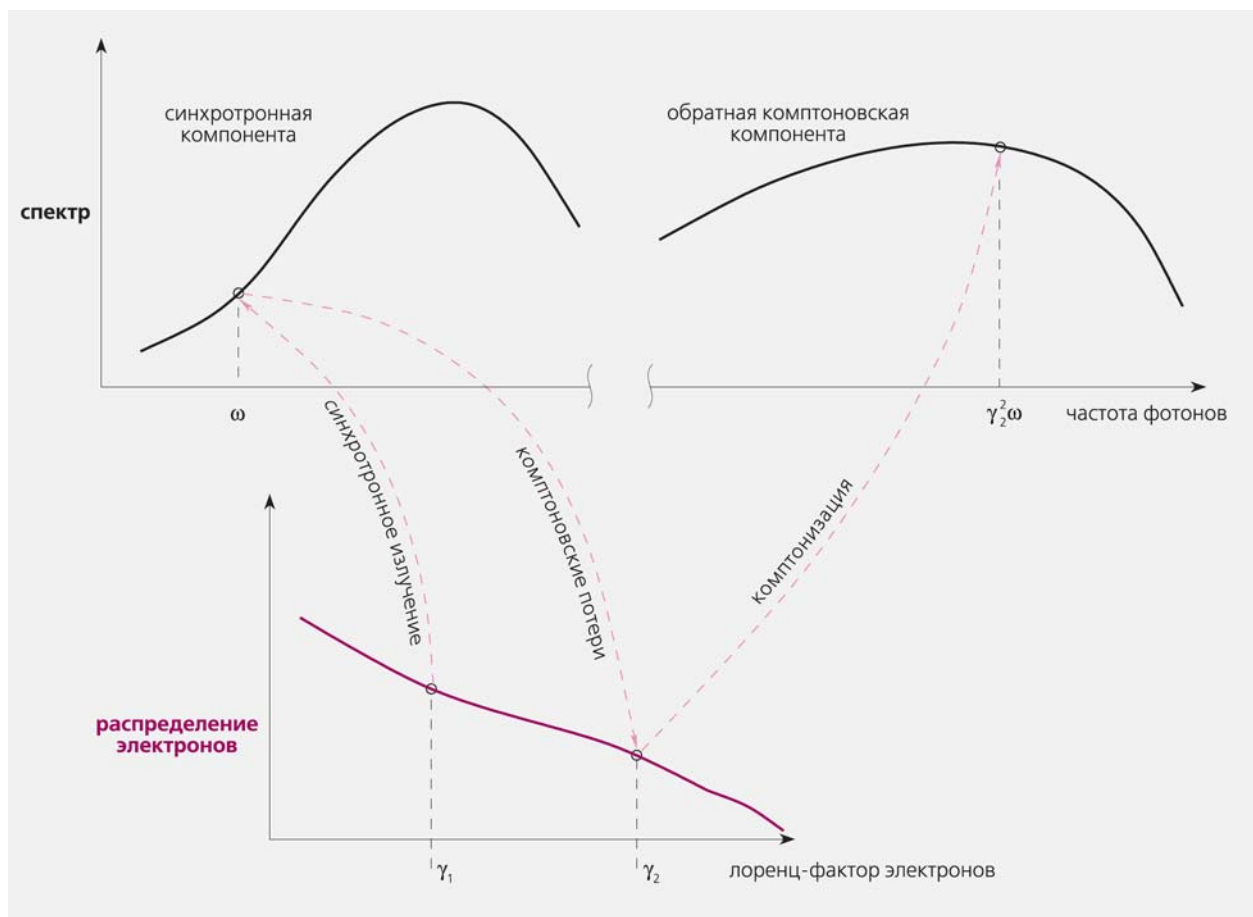


Рис. 7. Схема синхротронно-комптоновского механизма излучения. По известному энергетическому распределению электронов (нижний график) можно однозначно восстановить спектр их синхротронного излучения (левая часть верхнего графика), причем на каждой частоте ω основной вклад приходится на группу электронов (γ_i), у которых максимум синхротронного спектра близок к этой частоте. В то же время фотоны частоты ω соответствуют порогу Клейна—Нишины для другой группы электронов (γ_2) и, если он расположен на растущей части спектра, определяют их комптоновские потери. Последние, в свою очередь, диктуют спектр комптоновского излучения в области частот порядка $\gamma_2^2 \omega$ и влияют на вид функции распределения электронов.

симо [15]. Между ними существует тесная связь: обе они суть излучение одних и тех же высокоэнергичных электронов и позитронов, функция распределения которых испытывает обратное влияние со стороны излучения обоих видов. Наибольший интерес представляет случай эффективного излучения, когда за характерное время эволюции джета частицы успевают излучить значительную часть своей энергии. Тогда формируется квазистационарное распределение частиц, вид которого определяется как зависимостью темпа радиационных потерь от их энергии, так и свойствами источника частиц (его роль играет, например, ударная волна, поставляющая ускоренные электроны внутрь джета).

Синхротронные потери пропорциональны квадрату энергии излучающих частиц, а комптоновские потери зависят еще и от спектра низкочастотного излучения (основной вклад в величину потерь вносят фотоны с частотой ниже так называемого порога Клейна—Нишины). Пороговая частота обратно пропорциональна энергии частиц, т.е. влияние порога максимально для высокоэнергичных частиц и практически отсутствует для низкоэнергичных. Соответственно, для частиц с энергией ниже некоторой преобладают комптоновские потери; для остальных главным каналом потерь оказывается синхротронное излучение. Величина граничной энергии зависит от нескольких факторов, в том числе и от мощности источника частиц. Таким образом, даже простое изменение количества ускоряемых электронов и позитронов при прочих равных условиях влияет на положение как синхротронного, так и комптоновского максимумов в спектре наблюдаемого излучения.

Как показано на рис.7, взаимосвязь синхротронного и комптоновского механизмов излучения ведет к изменению спектров обеих компонент, причем она имеет нелокальный по частоте, интегральный характер. В итоге даже простые (например, с единственной особенностью) функции распределения электронов у источника ускоренных частиц порождают сложные спектры синхротронного и комптоновского излучения. Это позволяет объяснить основные спектральные особенности излучения релятивистских джетов.

Это еще не все

Электромагнитное излучение, его спектр, поляризация, переменность, — единственный доступный нам канал информации о релятивистских джетах. По известным характеристикам из-

лучения можно установить, хотя и не вполне однозначно, свойства излучающих частиц. Однако сделать дальнейший шаг в понимании природы джетов — их динамики, процессов формирования и разгона до релятивистских скоростей — очень сложно. Об этих явлениях, исключительно важных для физики джетов, пока приходится судить исходя из косвенных фактов и общезначимых соображений, основываясь на упрощенных моделях [1, 4, 16].

Проиллюстрируем сложность процессов в релятивистских джетах на примере существенной роли нейтронной компоненты, присутствие которой, по-видимому, типично для плазмы в источниках космических гамма-всплесков [17]. В основании джета нейтроны сталкиваются с протонами достаточно часто, чтобы оказаться увлеченными общим потоком, но затем, начиная с некоторого расстояния, разлетаются практически свободно. Если разгон джета к этому моменту еще не завершился, то плазменная (электрон-протонная) компонента приобретает больший лоренц-фактор, чем нейтронная. В результате протон-нейтронные столкновения становятся неупругими и порождают как нейтральные, так и заряженные пионы. Распад заряженных пионов приводит к появлению трех нейтрино и позитрона (электрона), причем каждая частица уносит примерно одинаковую энергию ≈ 35 МэВ. Нейтральные пионы распадаются на два гамма-кванта с энергией около 70 МэВ. Так возникает нейтринное излучение и жесткое гамма-излучение, перерабатываемое в электромагнитном каскаде и выходящее с более далекой фотосферы. Динамическое воздействие нейтринного излучения за счет импульса отдачи может быть столь велико, что приводит к значительному торможению джета. В числе прочих неупругих реакций идут процессы с образованием дейтерия — и релятивистский джет становится его эффективным источником, превращая в дейтерий до 20% всего выбрасываемого нуclidонного вещества.

Мы смогли рассказать здесь лишь об отдельных фрагментах мозаики, которым предстоит сложиться в полную картину, включающую все аспекты происхождения и структуры релятивистских джетов. Предстоит, потому что многие части мозаики еще далеки от понимания, а наблюдательные данные пока довольно бедны. Однако даже те детали, которые уже ясны, демонстрируют разнообразие и богатство физических представлений, необходимых для объяснения природы столь масштабного явления во Вселенной, как релятивистские джеты. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-02-17525), Совета по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ РФ (гранты МК-2752.2005.2 и НШ-4588.2006.2), программы «Происхождение и эволюция звезд и галактик» Президиума РАН.

Литература

1. Relativistic Jets in AGNs // Proceedings of the International Conference. Cracow, May 27—30 1997 / Eds. M.Ostrowski, M.Sikora, G.Madejski, M.Begelman.
2. Whitney A.R., Shapiro I.I., Rogers A.E.E. et al. // Science. 1971. V.173. P.225—230.
3. Urry C.M., Padovani P. // Publications of the Astronomical Society of the Pacific. 1995. V.107. P.803—845.
4. Blandford R.D. // Progress of Theoretical Physics Supplement. 2001. №143. P.182—201.
5. Mirabel I.F., Rodriguez L.F. // Nature. 1994. V.371. P.46—48.
6. Fender R.P. Jets from X-ray binaries // Compact Stellar X-ray Sources / Ed. W.H.G.Lewin, M.van der Klis. Cambridge, 2006. P.381; astro-ph/0303339.
7. Постнов К.А. // УФН. 1999. Т.169. №5. С.545—558.
8. Jones T.W., O'Dell S.L. // Astronomy and Astrophysics. 1977. V.61. P.291—293.
9. Железняков В.В., Корягин С.А. // Письма в Астрономический журнал. 2002. Т.28. С.809—828.
10. Железняков В.В., Корягин С.А. // Письма в Астрономический журнал. 2005. Т.31. С.803—818.
11. Бережко Е.Г., Крымский Г.Ф. // УФН. 1988. Т.154. №1. С.49—91.
12. Derishev E.V., Abaronian F.A., Kocharovskiy V.V., Kocharovskiy V.I.V. // Physical Review D. 2003. V.68. P.043003(1—10).
13. Stern B.E. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2003. V.345. №2. P.590—600.
14. Derishev E.V., Abaronian F.A., Kocharovskiy V.I.V. // The Astrophysical Journal. 2007. V.65. №1 (in press); astro-ph/0605456.
15. Derishev E.V., Kocharovskiy V.V., Kocharovskiy V.I.V. Cosmological Gamma-Ray Bursts: the Modern Scenario // Proc. of the 3rd International Sakharov Conference on Physics. Moscow, 2002. 24—29 June / Eds. A.Semikhatov, M.Vasiliev, V.Zaikin. 2003. V.1. P.373—385.
16. Бескин В.С. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике. — М., 2005.
17. Derishev E.V., Kocharovskiy V.V., Kocharovskiy V.I.V. // The Astrophysical Journal. 1999. V.521. P.640—649.

«Фрики» — морские волны-убийцы



Е.Н.Пелиновский, А.В.Слюняев

Явление, о котором пойдет речь, в англоязычной литературе чаще всего обозначают термином *freak waves**. Помимо него, существует множество других названий, отражающих изумление и страх: *rogue waves*, *cape rollers*, *rabid-dog waves*, *abnormal waves*, *exceptional waves*, *giant waves*, *steep wave events*. В русском языке внезапно возникающие неожиданно высокие волны на морской поверхности называют аномально высокими, экстремальными, волнами-шагунами, либо просто убийцами. Еще совсем недавно их существование подвергалось сомнению,

несмотря на значительное число свидетельств случайных очевидцев. Однако с появлением инструментальных измерений наличие проблемы стало бесспорным и породило огромное число исследований в последние 10—15 лет. В России над проблемой волн-убийц активно работает несколько групп, в том числе в Институте прикладной физики РАН.

Волны: высокие и аномальные

Волна в океане может быть большой. Ее высота может достигать полукилометра, как произошло в 1958 г. на Аляске, когда мощный оползень в маленькой бухте произвел эффект падающего куска

* Freak — необычный, причудливый; *freak waves* — волны блуждающие.

сахара в стакане. Возникшая волна просто захлестнула противоположный берег, смыв с него лесной покров и выбросив на берег стоявшие в бухте суда [1]. Понятно, что схожую картину можно ожидать и от падения крупных астероидов, но подобные источники генерации волн являются экстраординарными и крайне редкими. Такие волны относятся к разряду цунами; не нужно заглядывать далеко в историю за примерами их разрушительного действия: достаточно вспомнить индонезийское цунами 2004 года.

Существует большое количество менее экзотических по происхождению волн на поверхности Мирового океана, обусловленных действием гравитации, силой Кориолиса (следствие того, что точки разных широт на поверхности Земли имеют различные радиусы вращения), эффектами захвата неровностями дна и др. Волны, которые мы обычно наблюдаем на море, — гравитационные волны, возникшие под действием ветра. На больших дистанциях или в штормовых областях ветер создает наиболее интенсивные волны; потом они могут убежать из зоны генерации, несколько изменяясь из-за различного закона ослабления волн разной длины (такие волны называются зыбью).

Кроме интенсивности (она характеризуется высотой волны H — расстоянием по вертикали от дна ложбины до пика гребня), важна длина волны λ . Отношение этих двух величин для индивидуальной волны задает ее крутизну κ :

$$\kappa = \pi \frac{H}{\lambda}. \quad (1)$$

Волна не может быть слишком крутой. При достижении определенного порогового значения она начинает обрушиваться подобно тому, как осыпается слишком крутой песчаный бархан. Длина волны связана с периодом T через дисперсионное соотношение, куда для гравита-



Ефим Наумович Пелиновский, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории нелинейных геофизических процессов ИПФ РАН, профессор Нижегородского государственного технического университета. Лауреат Государственной премии России (1997) и нескольких международных премий. Занимается разработкой физико-математических моделей волновых процессов и их применением в прогнозировании морских природных катастроф.



Алексей Викторович Слюняев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — нелинейные морские волны, нелинейные эволюционные уравнения.

ционных свободных волн помимо величины ускорения свободного падения g входит зависимость от глубины моря D :

$$\omega = \sqrt{kg \tanh(kD)}, \quad \omega = 2\pi T^{-1}, \quad k = 2\pi \lambda^{-1}. \quad (2)$$

Типичная крутизна морских волн составляет 0.07–0.1. Нетрудно видеть, что для волн на глубокой воде ($kD \gg 1$) с периодом 10–12 с это соответствует высоте 3.5–7 м. Такой период волн характерен для хорошо развитого волнения, волны с меньшим периодом оказываются ниже по высоте. Обрушивающимися в приведенном примере становятся 20–30-метровые волны; обрушение ограничивает их возможные высоты и приводит к перераспределению энергии между волнами разных масштабов. Реально зарегистрированные волны в штормовых районах действительно достигают высоты 30 м. Эти волны ростом с десятиэтажный дом, несомненно, очень опасны. Однако для адекватной оценки опасности явления необходимо знать еще одну величину — его вероятность, т.е. как часто можно ожидать столь губительную волну. Например, по существующим представлениям, в Баренцевом море возможны волны высотой 24 м, а в Северном море — 30 м лишь один раз в 100 лет.

Ответ на вопрос о частоте повторяемости экстремальных волн призваны давать статистические теории. Они описывают не индивидуальные волны, а их ансамбли и способны прогнозировать вероятность появления волн с заданными характеристиками, если известны некоторые усредненные параметры волнения. Наиболее существенную роль в этом смысле играет значительная* высота волн H_s . В рамках классической статистической модели вероятность высот волн задается распределением Рэлея

$$P(H) \approx \exp\left(-2 \frac{H^2}{H_s^2}\right). \quad (3)$$

* Значительная высота волн — средняя высота трети наиболее высоких волн в записи.

Формула (3), основанная на центральной предельной теореме, проверялась на большом статистическом материале и во многих случаях дает очень хорошее описание. Видно, что вероятность появления высоких волн экспоненциально падает, т.е. они должны быть очень редкими. Действительно, число измеренных волн с большим превышением средней высоты H/H_s мало, что ведет к недостаточной степени верификации формулы (3) (а значит, и достоверности) в области экспоненциальных «хвостов».

Морские описания богаты упоминаниями о волнах-убийцах («три сестры», «девятый вал», «стена воды», «дыра в море»), которые традиционно относились скорее к фольклору, нежели к реальному положению вещей. Понятно, что волны высотой с современный дом должны были приводить в ужас мореплавателей в прошлом. Несмотря на стремительный рост размеров и мощности кораблей и морских сооружений, ветровые волны продолжают быть разрушительными, приводя к серьезным повреждениям судов, гибели людей, а иногда и кораблей целиком. Так, за период 1969–1994 гг. 22 супертанкера были потеряны или существенно повреждены в Тихом и Атлантическом океанах; при этом погибло 525 человек, см. схему на рис.1 [2]. Как минимум 12 схожих слу-

чаев известны для Индийского океана около побережья Южной Африки [3]. Географически места аварий судов коррелируют с основными судоходными путями в океане; обработка немецким аэрокосмическим центром наблюдений морской поверхности с Европейского космического спутника показывает, что наиболее интенсивные волны гуляют на больших акваториях (где разгон волн, а значит и способность ветра передавать энергию волнам, велики).

Аргументированно говорить о высоких волнах стало возможным, когда с помощью буев или стационарных высоотомеров начали вести записи последовательных измерений смещения поверхности воды. Наиболее интересны случаи внезапного возникновения высоких волн, значительно превосходящих окружающие. Пример такой записи дан на рис.2; она сделана у побережья Геленджика в Черном море и демонстрирует максимально усиление нам усиление волны по отношению к среднему уровню [4]:

$$A = \frac{H}{H_s} \approx 3.9.$$

Если в формулу (3) подставить $H = 3H_s$, получим, что такая волна (для характерного периода ветровых волн 10 с) может наблюдаться один раз

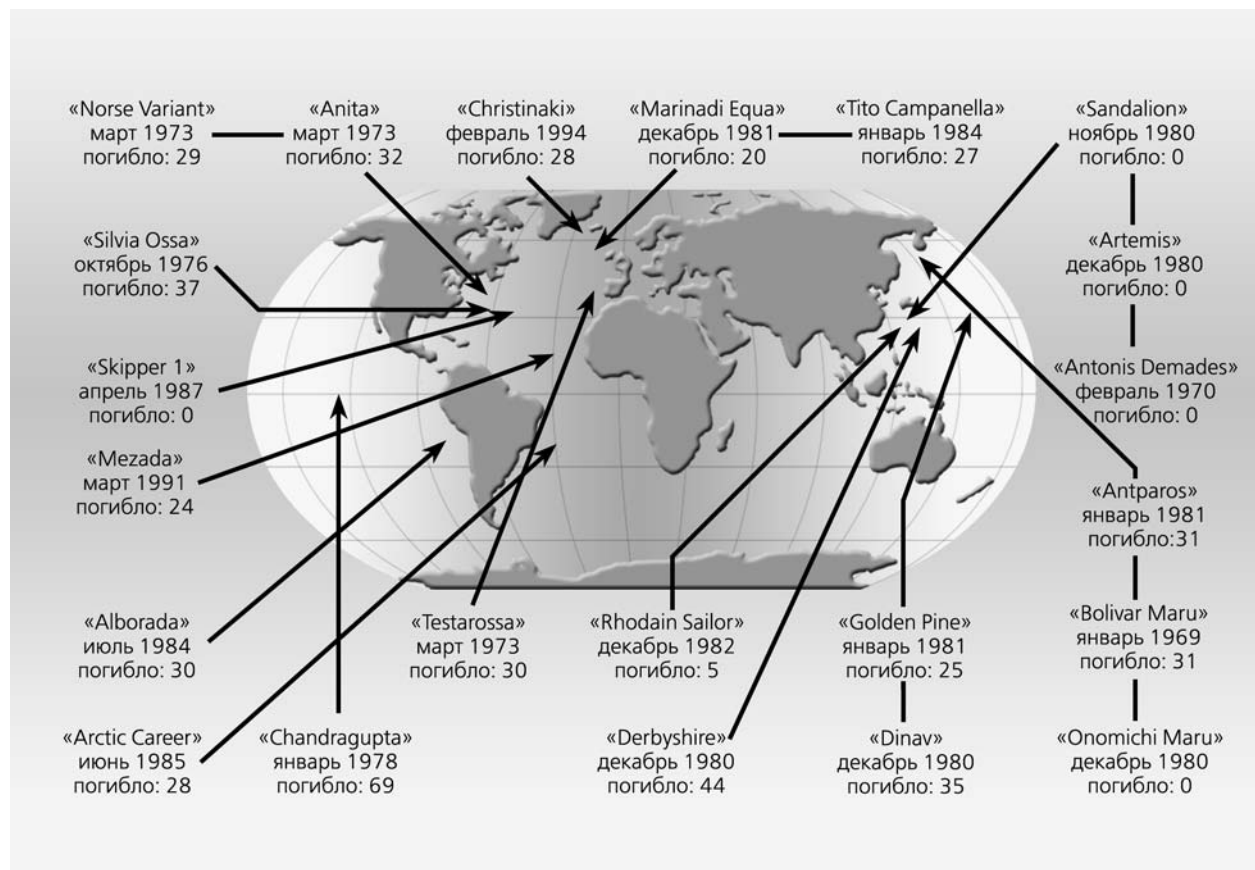
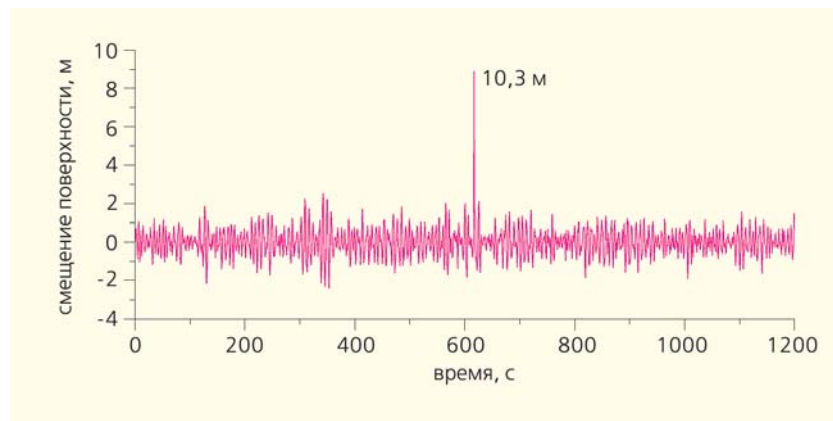


Рис.1. Статистика встреч супертанкеров с волнами-убийцами за 1968—1994 гг. [2].

Рис.2. Временная запись аномально высокой волны в Черном море, полученная 22 ноября 2001 г. [4].



в 20 лет. Тем не менее, за уже упомянутое трехнедельное наблюдение морской поверхности из космоса наблюдалось усиление $A = 2.9$; за 793 ч наблюдений волн в Северном море зарегистрировано $A = 3.19$ [5]. Столь неожиданно частая регистрация экстремальных волн привела к серьезному пересмотру классической статистической модели в области высоких волн (например, по данным [5], волна с параметром $A = 3.19$ оказалась в 300 раз более вероятной, чем ожидалось).

Волна, представленная на рис.2, не просто большая, а именно внезапно большая. Она резко выделяется из предшествующих и следующих за ней волн по высоте и форме, хотя ее длительность остается типичной для записи. Этот факт умножает ее губительность. Приведем в качестве примера описание встречи с волной-убийцей российского танкера-рефрижератора «Таганрогский залив» из книги [3]. *...27 апреля 1984 г. танкер следовал из Индийского океана в юго-восточную Атлантику. Дул 6-балльный северо-северо-восточный ветер. В 05 ч ветер изменился на юго-западный, стал постепенно усиливаться и к 11 ч достиг силы 8 баллов. Сразу после 12 ч было замечено ослабление ветра; в 12 ч 30 мин, согласно измерениям, его скорость составила 15 м/с. Такой же силы ветер оставался и в следующие три часа. Волнение моря после 12 ч тоже несколько уменьшилось и не превышало 6 баллов. Ход судна был сбавлен до самого малого, оно слушалось руля и хорошо «отыгрывалось» на волне. Бак и палуба водой не заливались. Неожиданно в 13 ч 01 мин носовая часть судна несколько опустилась, и вдруг у самого форштевня под углом 10–15° к курсу судна был замечен гребень одиночной волны, которая возвышалась на 4–5 м над баком (фальшборт бака отстоял от уровня воды на 11 м). Гребень мгновенно обрушился на бак и накрыл работающих там матросов (один из них погиб). Матросы рассказывали, что судно как бы плавно пошло вниз, скользя по волне, и «зарылось» в вертикальный срез ее фронтальной части. Никто удара не ощутил, волна плавно перекатилась через бак судна, накрыв его слоем воды*

толщиной более 2 м. Ни вправо, ни влево продолжения волны не было.

Таким образом, волна появилась внезапно, была неожиданно высокой и крутой. Эти свойства формируют среди высоких волн особый класс — необычных, аномальных волн, волн-убийц. Поскольку многие их параметры остаются неизвестными, само определение оказывается довольно расплывчатым. Чаще всего пользуются амплитудным критерием выделения аномально высоких волн:

$$A > 2. \quad (4)$$

Ему удовлетворяют несколько сотен известных инструментальных регистраций аномальных волн на морской поверхности. Вопрос о форме волны также важен (волны разной формы могут оказывать различное по силе воздействие на корабли и морские сооружения), но более сложен. Форма волны зависит от действующих физических механизмов, а при моделировании — от точности модели. В дополнение к (4) предлагались более строгие критерии отбора аномальных волн, суживающие это понятие, но мы будем использовать только условие (4). Недавняя фотография волны у побережья Камчатки (рис.3) демонстрирует, насколько неординарной может быть волна-убийца. По свидетельству фотографа, он наблюдал несколько подобных одиночных волн, которые появлялись на времена порядка десятка секунд и пробегали около 50 м. В случае с «Таганрогским заливом» (а также в некоторых других сходных описаниях) отмечался очень крутой передний склон волны с глубокой впадиной; такая асимметрия определяла особую опасность волны. Наоборот, для волны на рис.3 заметной впадины у фронта не было. Важно, что во многих описаниях волн-убийцы возникают на фоне почти спокойного моря.

Конечная цель исследований волн-убийц — определение их параметров и разработка методов прогноза. Для этого необходимо изучать их статистику в различных акваториях Мирового океана в зависимости от многочисленных географических факторов (батиметрии морского дна,



Рис.3. Фотография волны, сделанная у мыса Ольга (юг Кроноцкого п-ова, Камчатка) В.Соколовским в июне 2006 г.

очертаний береговой линии, течений, циклонов, ураганов). Важное место здесь принадлежит физике формирования волн-убийц. Поняв механизмы их зарождения, ученые смогли бы районировать Мировой океан по степени риска, а также определить условия, предшествующие появлению волн-убийц.

Механизмы-претенденты и модели

Признание проблемы аномально высоких волн вызвало всплеск интереса к высоким морским волнам вообще. Если не использовать многие традиционные упрощения, волны на морской поверхности оказываются достаточно сложной системой: это трехмерный объект, включающий границу двух сред с потоками (ветром и течениями) и определенной долей перемешивания. Волны, согласно (2), обладают дисперсией групповой скорости $c_{gr}(k) = d\omega/dk$ и нелинейны; наконец, водная толща неоднородна по многим параметрам и содержит движения разных масштабов. В слишком огрубленных моделях (а без упрощения невозможно понимание физики сложного процесса) могут теряться эффекты, обуславливающие явление волн-убийц. Поэтому главная теоретическая задача — понять физические механизмы, способные приводить к существенному усилению волн в локальной области, и сформулировать соответствующие модели, описывающие процесс.

Наиболее просты и интуитивно понятны линейные модели, которые для объяснения аномально высоких волн были предложены первыми. Волны на воде несут в себе энергию — тем большую, чем выше волны. Потому естественно ожидать, что процессы различного рода фокусировки волновой энергии могут порождать очень высокие волны. Сконцентрировать энергию различных волн в одной области можно, например, если стонать их под разными углами (пространственная, или геометрическая фокусировка — как оптических лучей). Еще один вариант — собрать волны

вместе из-за разницы в скорости распространения индивидуальных волн (благодаря уже упомянутой дисперсии групповой скорости — дисперсионная фокусировка). Для этого волны должны быть неоднородными: таковы различные системы волн (например, генерируемые в данной области ветровые волны плюс зыбь, приходящая из другой области генерации) или неоднородные сонаправленные волны. Вариации в волновых параметрах могут вызываться переменными условиями распространения (батиметрией, течениями, прохождением сильных атмосферных фронтов).

На рис. 4 приведен пример определения текущей групповой скорости в 20-минутной выборке поверхностных волн (она высчитывалась через дисперсионное соотношение (2) по найденному локальному периоду волн). Видно, как резко ее величина изменяется внутри записи. Такая неоднородность приводит к постоянному сжатию-расхождению волн и в принципе способна обеспечивать их сильный рост. На рис.5 показан результат лабораторного моделирования фокусировки волн в результате действия дисперсии [6]. Создаваемый волнопродуктором цуг волн соответствует случаю, когда длинные (более быстрые) волны расположены позади коротких, а закон модуляции частоты волн подобран таким образом, чтобы их схождение было максимальным (в теории — в одной точке и в один момент времени). Видно формирование фактически одиночной волны в момент максимального сжатия, которая затем обрушивается из-за слишком боль-

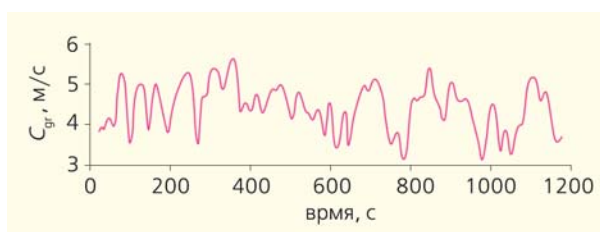


Рис.4. Групповая скорость волн, определенная по записи на рис.2.

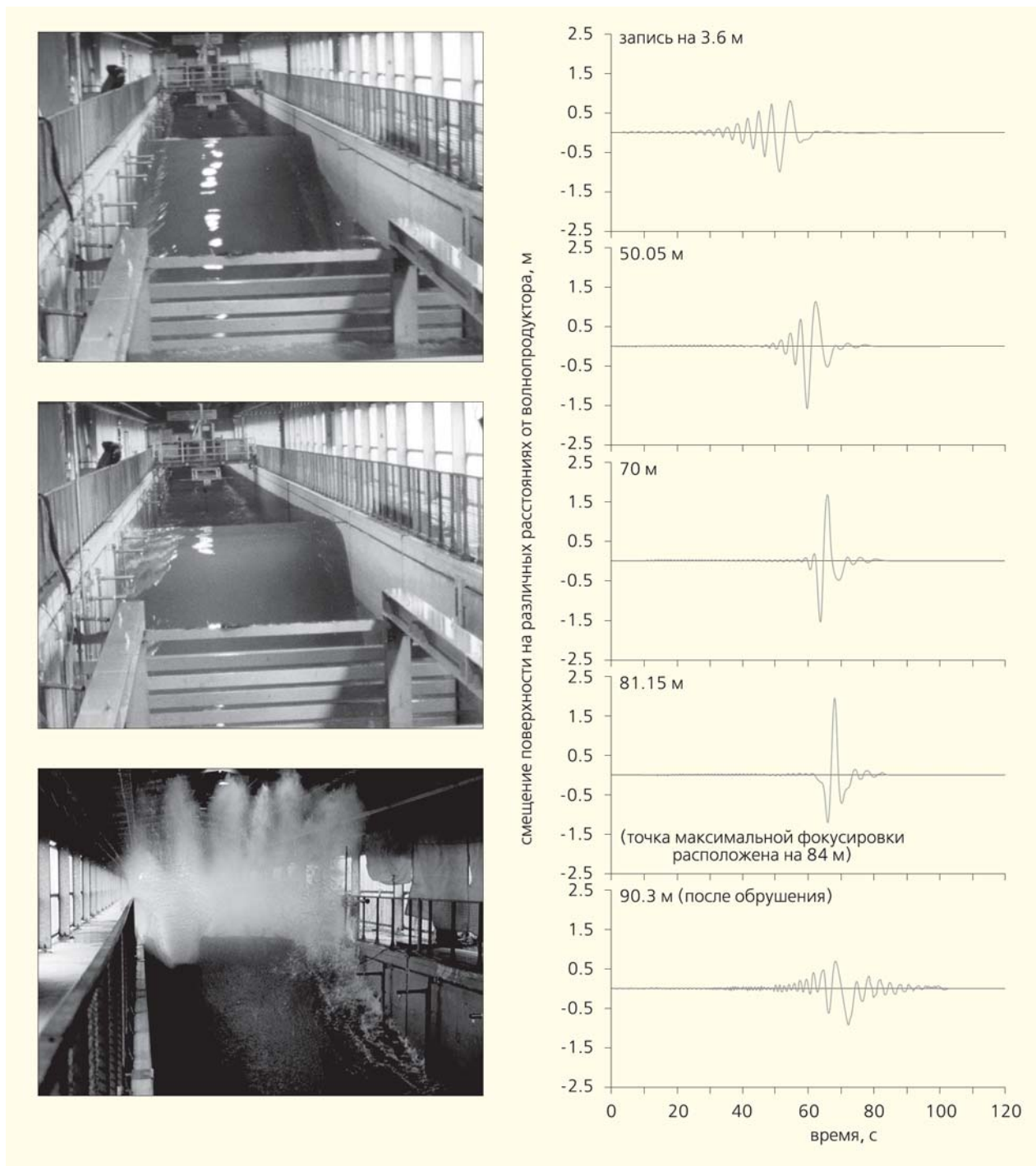


Рис.5. Моделирование сжатия волнового пакета в результате дисперсии в лабораторном бассейне [6].

шой крутизны. Дисперсионная фокусировка — классический эффект линейной физики, хорошо известный в оптике. Эффективность сжатия частотно-модулированных пакетов поверхностных волн доказана в многочисленных лабораторных экспериментах, этот механизм часто используют в лотке для получения интенсивных волн. Для со-

здания частотной модуляции в цуге реальных морских волн требуются переменные вынуждающие силы или условия распространения: например, сильное течение, переменная глубина, неоднородный ветер.

Влияние переменной батиметрии на распространение поверхностных волн превосходно де-

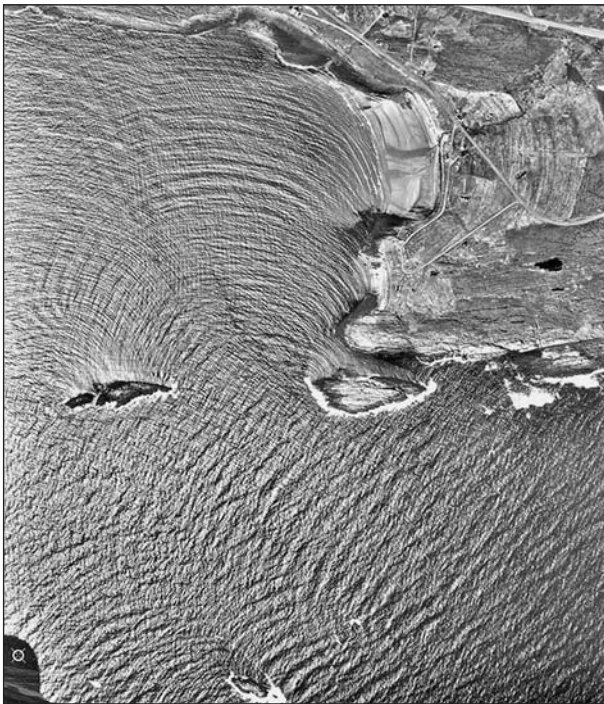


Рис.6. Искривление волновых фронтов как следствие влияния переменной глубины и обтекания препятствий.

монстрирует фотография на рис.6. Скорость волн зависит от глубины (см. (2)), поэтому волны с более глубоких областей догоняют волны на мелководье, и волновой фронт вытягивается вдоль береговой линии. По той же причине образуются области схождения волн за обтекаемыми островами, что также хорошо заметно на рис.6. Искривление волнового фронта приводит к геометрической фокусировке волновой энергии; этот процесс

может дополняться дисперсионной фокусировкой либо действовать независимо. Процесс дисперсионного сжатия с геометрической подфокусировкой может проходить еще резче, чем в одномерном случае, что понятно на качественном уровне.

Волны малой амплитуды слабо взаимодействуют, оставаясь почти линейными. Поэтому быстрый процесс роста волн оказывается слабо чувствительным к «зашумлению» модулированного пуга другими волнами (рис.7 показывает фокусировку волн в присутствии сильной случайной компоненты для случая двух координат x и y), и простая линейная модель зачастую удовлетворительно описывает эту динамику.

Взаимодействие с сильными неоднородными течениями приводит к искажению траекторий волн и блокировке последних. В простейшей модели поведение волн описывается с помощью модифицированного дисперсионного соотношения (2) с учетом переменного течения и закона энергетического баланса — уравнения волнового действия. Задачу можно наглядно интерпретировать на манер представления потенциальной ямы (которое часто используется в механике для иллюстрации постоянства суммы потенциальной и кинетической энергии и соответствующей динамики): запишем групповую скорость в приближении глубокой воды

$$c_{gr} = \frac{d\omega}{dk} = \frac{1}{2} \sqrt{g/k} + U. \quad (5)$$

Неоднородное течение $U(x)$ здесь играет роль потенциальной ямы, вернее — наклонного барьера. В полномерном случае $U(x, y)$ — это «потенциальный овраг», в котором распространяются волны. Они не могут его покинуть, если склоны (перепад скорости течения) слишком высоки, и распространяются в среднем вдоль течения (явление

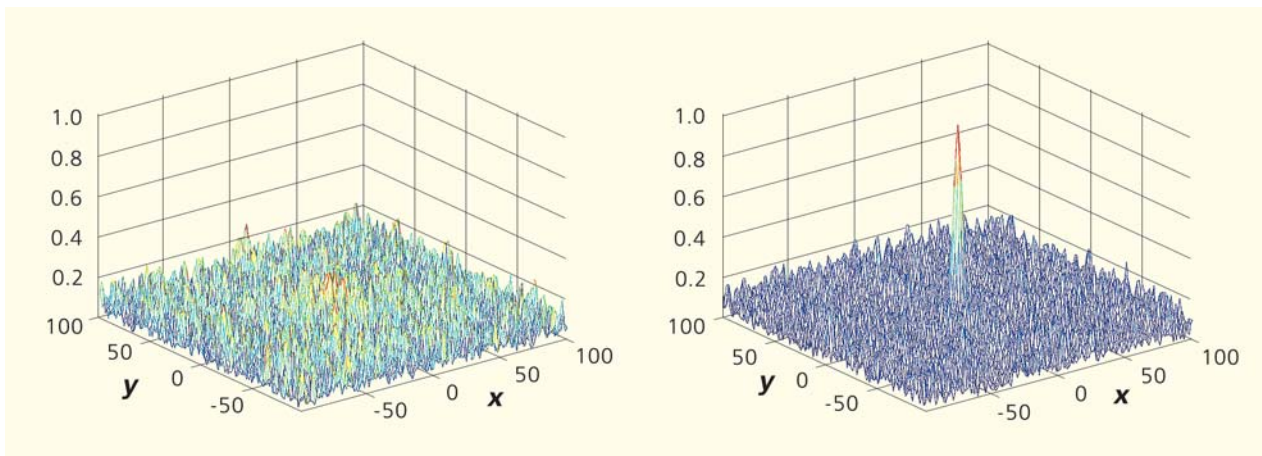


Рис.7. Численное моделирование дисперсионно-геометрического сжатия в присутствии случайных волн: начальное условие со «спрятанной» частотной модуляцией (слева). Видна группировка у центра интенсивных («красных») волн, но их амплитуда еще невелика. Момент образования большой волны (справа) [8].

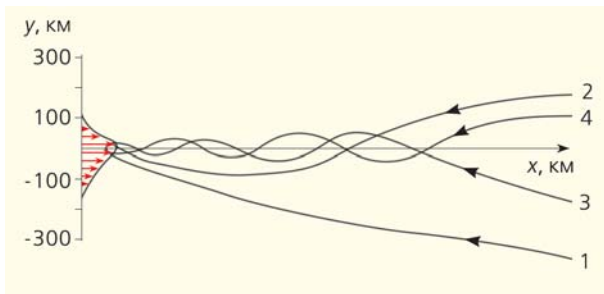


Рис.8. Поведение лучевых линий волн на встречном течении, построенное для района мыса Игольного [3].

захвата волн), а также могут обращаться вспять (блокировка волн течением). При этом происходит перераспределение волновой энергии; появление областей ее концентрации (каустик); лучевые линии в поле течения ведут себя, как показано на рис.8.

Значительное усиление волны на встречном течении заметно в устьях рек, когда морская волна заходит вверх по течению реки. Существование областей схождения волн в результате действия течений, влияния переменной глубины, блокировки волн течениями повышает вероятность появления высоких волн в этих точках, хотя сами области фокусировки волновой энергии (каустики) могут случайно возникать и исчезать. Описанный выше случай из книги [3] относится к юго-восточному побережью Африки, где вдоль материкового склона проходит сильное неоднородное течение мыса Игольного (Агульсово течение). Расчет лучевой картины для описанных условий [3] показал наличие каустических точек с концентрацией волновой энергии (рис.8). Согласно наблюдениям, волны-убийцы на течении мыса Игольного часто появляются через несколько часов после того, как усиливающийся ветер изменяет свое направление с северо-восточного на юго-восточное. Поскольку за формирование волн, систем разнонаправленных волн, модулированных волн ответственны атмосферные факторы, погодные закономерности напрямую связаны с созданием условий, благоприятных для появления волн-убийц, и должны изучаться.

Эффекты нелинейности

Пока речь шла о физических эффектах, которые описываются линейными моделями. В действительности морским волнам свойственна нелинейная динамика, ярким примером которой служит их обрушение. Чтобы понять происхождение эффектов нелинейности, достаточно осознать, что бегущая волна сама изменяет условия распространения, и чем она интенсивнее, тем значительнее

это влияние. Степень нелинейности однородных (монохроматических) волн определяется крутизной k . Нелинейность в первую очередь модифицирует все фокусирующие механизмы [7, 8], поскольку скорость распространения волн становится функцией их амплитуды, а также способствует эффективному взаимодействию отдельных волн. Возникают принципиально новые — нелинейные — механизмы генерации очень высоких волн.

Поверхностные волны подвержены многим нелинейным неустойчивостям, когда малые возмущения могут стремительно нарастать. Это означает передачу энергии однородной системы волн волнам других масштабов и ведет к пространственному перераспределению волновой энергии и появлению областей ее концентрации. Наиболее известная неустойчивость — эффект самомодуляции волн на глубокой воде: однородные волны разбиваются на долгоживущие связанные группы. Хорошо известно явление биения волн — сильная неоднородность поля, состоящего из суперпозиции волн двух близких частот. В результате нелинейной неустойчивости энергия монохроматических волн передается двум другим системам волн — чуть большей и чуть меньшей частоты — и концентрируется в областях нелинейного фокуса. Эффект управляется двумя параметрами: крутизной и числом индивидуальных волн в группе, иначе амплитудой волн и длиной возмущения (которое всегда присутствует в реальности). Неустойчивыми становятся только достаточно длинные возмущения; ими могут оказаться волновые компоненты разных масштабов, и тогда волновое поле имеет очень сложный, в реальной задаче — хаотический характер.

Даже в случае однонаправленных волн развитие самофокусирующейся неустойчивости может перераспределять энергию в поперечном направлении и формировать сильно локализованные трехмерные волновые группы и уединенные волны. Это связано со сложной диаграммой направлений и длин неустойчивых возмущений, которая также зависит от глубины места. Описание одномерного процесса самомодуляции (когда все волновые гребни вытянуты в линию) в рамках простых теоретических моделей ограничивает усиление волн величиной $A = 3$; полнонелинейное численное моделирование говорит о несколько большем возможном усилении. В полномерном случае это усиление может быть значительно большим. Например, на рис.9 волны в результате довольно сложного процесса развития модуляционной неустойчивости вырастают более чем в семь раз [8] — таков результат численного моделирования нелинейного уравнения Шредингера [9] для случая двух поверхностных координат. Данное уравнение описывает модуляции огибающей слабонелинейных волн (именно огибающая построена на рис.9). Помимо самомодуляции монохроматических волн с плоским волновым фронтом теорети-

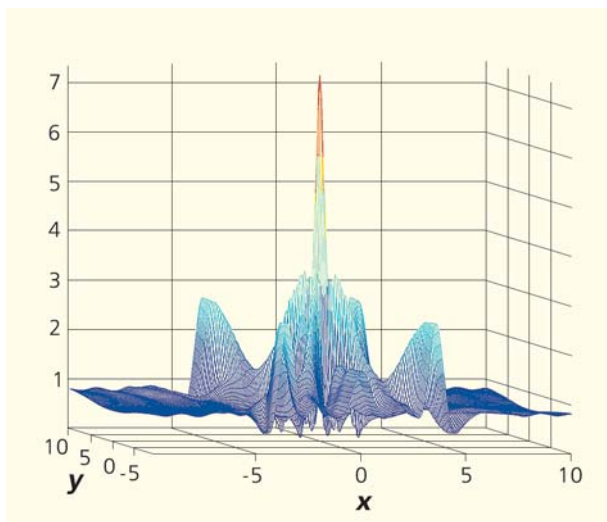


Рис.9. Результат развития модуляционной неустойчивости. Показана огибающая поля. Начальное условие — слабо возмущенный цуг волн единичной амплитуды [8].

чески изучаются неустойчивости других, более сложных волновых систем. Проблема волн-убийц простимулировала исследования неустойчивостей поверхностных волн; в частности, в работе [10] говорится о значительно большем стабилизирующем влиянии на процессы нелинейной само-модуляции слабой диссипации волн, которой очень часто пренебрегают в теоретических и численных расчетах.

Мы проанализировали имеющиеся записи аномально высоких волн в поисках связанных нелинейных волновых групп — солитонов огибающей, используя подход на основе теории задачи рассеяния. Для всех 11 обработанных записей оказалось, что аномальная волна возникла на такой нелинейной группе, что свидетельствует о важной роли самомодуляционных эффектов [11].

Процессы генерации высоких волн с участием нелинейных неустойчивостей могут быть очень чувствительными к возмущениям, а значит, трудно воспроизводимыми в лабораторном эксперименте и практически непредсказуемыми в реальном океане. Например, волна-монстр с рис.9 не образуется уже при слабом изменении начальных условий этого численного эксперимента. Потому здесь важно понимать потенциальные возможности усиления волн и определять вероятность таких процессов. Для первого необходимо развивать и изучать динамику волн в рамках наиболее реалистичных уравнений, а для второго — анализировать статистику нелинейных волн.

Последнее время стало особенно плодотворным для подобных исследований, так как постоянное наращивание вычислительных мощностей современных компьютеров сопровождалось разра-

боткой новых быстрых алгоритмов решения или исходных уравнений гидродинамики [12], или упрощенных, но очень аккуратных уравнений. В результате численное моделирование не только оказывается удобнее лабораторного эксперимента для решения модельных задач, но и обретает способность давать результаты для построения статистики. Использование численного моделирования снимает проблему статистической однородности: реализации аномально высоких волн должны соответствовать одинаковым условиям, что на практике не выполняется для столь малого числа имеющихся измерений волн-убийц. Сейчас это направление интенсивно развивается; моделирование выявило влияние нелинейности случайного волнового поля на функции распределения. В частности, функция распределения смещения поверхности становится асимметричной (положительный третий момент), так что число больших гребней превышает число больших «ям», возникает зависимость четвертого момента (экспесса, влияющего на долю высоких волн) от степени нелинейности ([13] и ссылки в статье). Вероятностные свойства интенсивных волн можно также рассчитывать в рамках статистического подхода [14] или оценивать по записям волн и тем самым находить области Мирового океана, где аномально высокие волны наиболее вероятны.

По мере уменьшения глубины области неустойчивых возмущений сужаются и физически отсутствуют в мелководном пределе ($kD \ll 1$ в (2)). Однако и в этом случае волны не перестают быть нелинейными (и даже наоборот, сила нелинейных эффектов по отношению к дисперсионным возрастает). Аномальные волны были зарегистрированы и на умеренных глубинах, и в условиях мелководья. Здесь предложены сценарии возникновения аномальных волн в результате динамики нелинейных уединенных волн (солитонов), которые выглядят как долгоживущие гребни волн, а также их взаимодействия с потоками.

Понимание механизмов образования аномально высоких волн и моделирование их динамики отвечают на вопросы, где и когда ожидать такую волну, как она выглядит и эволюционирует. Мы численно промоделировали динамику аномальных волн на основе инструментальных регистраций. Хотя запись волн в одной точке не описывает их развития (не определяется, например, время жизни волны-убийцы), приближенные эволюционные модели позволяют восполнить этот пробел: пересчитать запись в соседние пространственные точки так, словно по ходу волн были расположены другие самописцы. По нашим расчетам, времена жизни измеренных волн-убийц оказались от нескольких секунд до полутора минут. Такое динамическое моделирование наиболее информативно, но требует много данных, причем с высокой точностью, а его результаты для больших времен (или дистанций) могут сильно иска-

жаться из-за неустойчивостей. Поэтому в прогнозных моделях должны, очевидно, использоваться кинетические модели, описывающие эволюцию спектра волн, динамическое же описание следует применять для получения параметров аномальных волн, важных для разработки норм строительства безопасных кораблей и морских сооружений.

Близкие родственники

Явление аномально высоких волн можно понимать шире; к нему можно отнести неожиданные заплески прибрежной зоны, которые не удается объяснить выходом волн цунами либо приходом штормовых волн. Такие процессы известны, и в настоящее время их связывают, в частности, с динамикой краевых волн, распространяющихся вдоль берега [15]. Занимательная фотография подобного эпизода приведена на рис.10. Мы начали собирать описания аномальных волн; этот материал может служить лучшему пониманию и классификации природного явления, однако, к сожалению, не всегда по-настоящему достоверен.

Предложенные для объяснения аномально высоких волн механизмы мы, конечно, изложили бегло и неполно; подробнее см. в монографии [16]. Несмотря на значительное число претендентов на роль родителей волн-убийц, они пока довольно оторваны от реальных наблюдений. По всей видимости, в океане работают различные механизмы образования «фриков», но какие из них оказываются наиболее распространенными, а какие практически не реализуемы — сегодня доподлинно неизвестно. Тем самым картина волны-



Рис.10. Случай внезапного кратковременного затопления берега на пляже Маракас (Тринидад и Тобаго) в октябре 2005 г.

убийцы остается незаконченной. Обнаруженные сценарии генерации «примежаются» и на другие типы волн: внутренние волны, существующие в стратифицированном океане, захваченные топографией краевые волны, глобальные волны Россби; возможны приложения этих теорий в физике плазмы, включая астрофизическую плазму, в оптике. Недавние случаи неожиданных столкновений высоких волн с крупными лайнерами и нефтяными платформами привлекли к проблеме дополнительное внимание. К сожалению, публикации в широкой прессе наряду со свежей информацией содержат много неточностей, а то и просто неверных данных. Но проблема продолжает свое развитие и стимулирует исследования в смежных областях. ■

Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-05-64265), ИНТАС (грант 06-1000013-9236), Фонда содействия отечественной науке и ведущей научной школы академика В.И.Таланова.

Литература

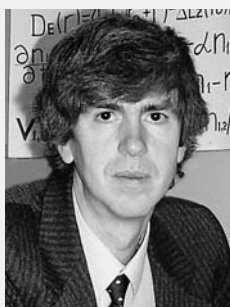
1. Пелиновский Е.Н. Нелинейная динамика волн цунами. Горький, 1982.
2. Lawton G. // *New Scientist*. 2001. V.170. №2297. P.28—32.
3. Лавренов И.В. Математическое моделирование ветровых волн в пространственно-неоднородном океане. СПб., 1998.
4. Дивинский Б.В., Левин Б.В., Лопатухин Л.И. и др. // *ДАН*. 2004. Т.395. №5. С.690—695.
5. Stansell P. // *Applied Ocean Research*. 2004. V.26. P.35—48.
6. Clauss G. // *Appl. Ocean Research*. 2002. V.24. P.147—161.
7. Pelinovsky E., Talipova T., Kharif C. // *Physica D*. 2000. V.147. №1—2. P.83—94.
8. Slunyaev A., Kharif C., Pelinovsky E., Talipova T. // *Physica D*. 2002. V.173. №1—2. P.77—96.
9. Островский Л.А., Потапов А.И. Введение в теорию модулированных волн. М., 2003.
10. Segur H., Henderson D., Carter J. et al. // *J. Fluid Mech*. 2005. V.539. P.229—271.
11. Slunyaev A., Pelinovsky E., Guedes Soares C. // *Applied Ocean Research*. 2005. V.27. P.12—22.
12. Dyachenko A.I., Zakharov V.E. // *Письма в ЖЭТФ*. 2005. Т.81. №6. С.318—322.
13. Pelinovsky E., Sergeeva (Kokorina) A. // *European J. of Mechanics B / Fluids*. 2006. V.25. №4. P.425—434.
14. Janssen P.A.E.M. // *J. Phys. Oceanogr*. 2003. V.33. P.863—884.
15. Kurkin A., Pelinovsky E. // *European J. of Mechanics B / Fluids*. 2002. V.21. №5. P.561—577.
16. Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. Нижний Новгород, 2004.

Загадки атмосферного электричества

Е.А.Мареев, В.Ю.Трахтенгерц

«Почему гремит гром и сверкает молния?» В наше время ответ на этот простой с виду вопрос знает даже школьник: «В облаках накапливаются электрические заряды, что приводит к пробое воздуха, который сопровождается вспышкой света и образованием ударной звуковой волны». Иными словами, гром и молния — проявления атмосферного электричества. Фундаментальная связь грозовых явлений с электричеством, впервые доказанная в опытах М.В.Ломоносова, Г.В.Рихмана и Б.Франклина, за два с половиной века была надежно подтверждена многочисленными исследованиями геофизиков, метеорологов, специалистов по грозопеленгации и грозозащите. Однако качественный скачок в совершенствовании методов наблюдений в последние два десятилетия привел к неожиданным открытиям в изучении грозовых облаков, молнии, глобальной атмосферной электрической цепи. Похоже, что переживаемый сейчас всплеск интереса к проблемам атмосферного электричества заставит взглянуть по-иному на механизмы формирования электрического поля и его роль в динамике атмосферы и ионосферы Земли. Мы коснемся некоторых из этих проблем, ставших предметом оживленных дискуссий (см., например, недавние монографии, сборники и обзоры [1–7]).

© Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю., 2007



Евгений Анатольевич Мареев, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией геофизической электродинамики ИПФ РАН. Область научных интересов — электродинамика атмосферы, физика ионосферы, генерация и распространение волн в плазме.



Виктор Юрьевич Трахтенгерц, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий сектором физики магнитосферной и ионосферной плазмы ИПФ. Занимается исследованиями в области геофизической электродинамики и физики околоземного космического пространства. Заслуженный деятель науки РФ.

Где чаще гремят грозы?

Сердце атмосферной электрической машины — грозовое облако, точнее, совокупность одновременно «работающих» полутора тысяч гроз, распределенных в нижней части атмосферы — тропосфере. Грозовое облако живет не так уж долго — от часа до нескольких часов. Но на смену одним грозам приходят другие, формирующиеся в тропосфере по соседству. Современные спутниковые измерения, а также наземные систе-

мы регистрации молний дают исследователям достаточно надежные карты распределения частоты молниевых вспышек по поверхности Земли (рис.1). Бросается в глаза, что частота вспышек над поверхностью океана в среднем на порядок ниже, чем над континентами в тропиках. Одна из причин такой асимметрии — в интенсивной конвекции в континентальных областях, где суша эффективно прогревается солнечным излучением. Быстрый подъем прогретого насыщенного влагой

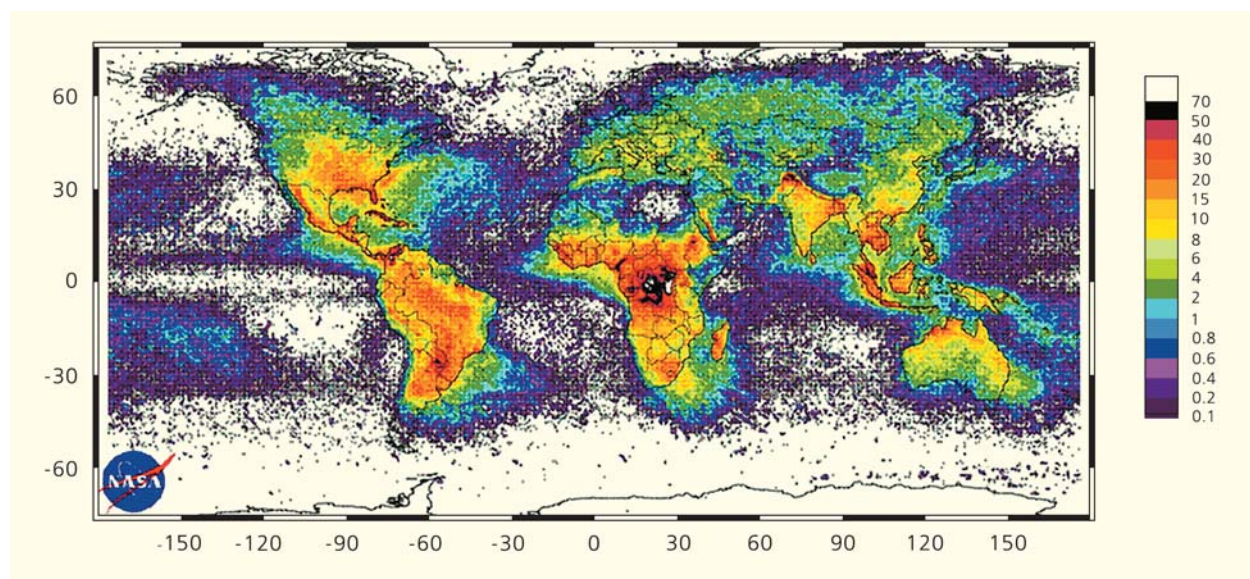


Рис.1. Распределение молниевых вспышек по поверхности земного шара. Результаты оптических наблюдений с борта спутников OTD и LIS (По: Christian H.J. et al. // J. Geophys. Res. 2003. V.108 (D1); doi:10.1029/2002JD002347).

воздуха способствует образованию мощных конвективных облаков вертикального развития, в верхней части которых температура ниже -40°C . В результате формируются частицы льда, снежной крупы, града, взаимодействие которых на фоне быстрого восходящего потока и приводит к разделению зарядов. Над океанами высота облаков в среднем ниже, чем над континентами, и процессы электризации менее эффективны. В последнее время обсуждается и другой фактор — различие в концентрациях аэрозолей над океаном и континентами. Так как аэрозоли служат ядрами конденсации, необходимыми для образования частиц в переохлажденном воздухе, их обилие над сушей повышает вероятность сильной электризации облака. Количественный анализ этого фактора требует детальных экспериментов, которые только начинаются.

По последним данным, глобальная среднегодовая частота вспышек (внутриоблачные разряды и разряды облако—земля) оценивается как 46 с^{-1} , что более чем в два раза ниже традиционно используемой оценки 100 с^{-1} , предложенной М.Бруксом еще в 1925 г. Примерно 78% всех молний регистрируется между 30° ю.ш. и 30° с.ш. Максимальная средняя плотность числа вспышек на единицу поверхности Земли превышает $80\text{ км}^{-2}/\text{год}$ и наблюдается в Африке (Руанда). Весь бассейн р.Конго площадью около 3 млн км^2 регулярно демонстрирует наибольшую молниевую активность, хотя и другие экваториальные очаги (в Южной Америке и Юго-Восточной Азии) изобилуют грозами. Оказалось, что существенный вклад в глобальную грозовую активность дают грозовые очаги субтропиков и средних широт. Некоторые из них, на-

пример в Северной Аргентине и Парагвае, лидируют по темпу молниевых вспышек (более 100 мин^{-1}). Изучение региональных особенностей статистики (климатология молнии) требует дальнейшего совершенствования спутниковых и наземных средств картирования гроз. Эти исследования интенсивно ведутся в связи с осознанием молниевой активности как важного фактора климата планеты [8], чутко реагирующего на изменения температуры, влажности, радиационного режима и состава атмосферы.

Электрическое динамо

Прогресс в исследованиях атмосферного электричества связан прежде всего с изучением механизмов генерации и диссипации электрической энергии в атмосфере. Узловая проблема здесь — так называемое электрическое динамо: генерация квазистационарного электрического поля и пространственного заряда в движущейся слабопроводящей среде [9]. Уже в самой простой формулировке проблемы динамо проявляется ее важная особенность — очень широкий интервал пространственно-временных масштабов. Чтобы на масштабе в несколько километров возникло электрическое поле, сравнимое по величине с пробойным ($\approx 30\text{ кВ/см}$ для сухого воздуха в нормальных условиях), нужно, чтобы беспорядочный обмен зарядами при столкновениях облачных твердых или жидких частиц привел к согласованному (коллективному) эффекту сложения микротоков в макроскопический ток весьма большой величины (несколько ампер), достаточный для быстрого

(десятки секунд) процесса разделения зарядов. Из опыта видно, что в зрелой грозовой ячейке молниевые разряды происходят с завидной регулярностью — каждые 15–20 с, т.е. действующий в облаке механизм зарядки очень эффективен, хотя средняя плотность электрического заряда редко превышает несколько нКл/м³ [1, 2]. Как показали измерения электрического поля на поверхности земли, а также внутри облачной среды (на баллонах, самолетах и ракетах), в типичном грозовом облаке «основной» отрицательный заряд — в среднем несколько десятков кулон — занимает интервал высот, соответствующий температурам от -10 до -25°C. «Основной» положительный заряд составляет также несколько десятков кулон, но располагается выше основного отрицательного, поэтому большая часть молниевых разрядов облако—земля отдает земле отрицательный заряд. В нижней части облака часто обнаруживается меньший по величине (~10 Кл) положительный заряд.

Для объяснения описанной выше (трипольной) структуры поля и заряда в грозовом облаке рассматривается множество механизмов разделения зарядов [1, 2]. Они зависят от таких факторов, как температура, фазовый состав среды, спектр размеров облачных частиц. Очень важна зависимость величины передаваемого за одно соударение заряда δq от электрического поля. По этому параметру принято подразделять все механизмы на индукционные и безындукционные. Для первого класса механизмов заряд δq зависит от величины и направления внешнего электрического поля и связан с поляризацией взаимодействующих частиц. Безындукционный обмен зарядами между сталкивающимися частицами в явном виде от напряженности поля не зависит. Несмотря на обилие различных микрофизических механизмов электризации, сейчас многие авторы считают главным безындукционный обмен зарядами при столкновениях мелких (с размерами от единиц до десятков микрон) кристаллов льда и частиц

снежной крупы (с размерами порядка нескольких миллиметров). В лабораторных экспериментах было установлено наличие характерного значения температуры, при которой меняется знак заряда δq , — точки реверса, лежащей обычно между -15 и -20°C. Именно эта особенность сделала данный механизм столь популярным, так как с учетом типичного профиля температуры в облаке она объясняет трипольную структуру распределения плотности заряда.

Недавние эксперименты показали, однако, что многие грозовые облака обладают еще более сложной структурой пространственного заряда (до шести слоев, рис.2). Особенно интересны мезомасштабные (с горизонтальными масштабами от десятков до сотен километров) конвективные системы, служащие важным источником грозовой активности. Их характерная черта — наличие единой электрической структуры, включающей область интенсивной конвекции и протяженную (до нескольких сотен километров) стратифицированную область. В области стратификации восходящие потоки достаточно слабые, но электрическое поле имеет устойчивую многослойную структуру. Вблизи нулевой изотермы здесь формируются достаточно узкие (толщиной в несколько сотен метров) и стабильные слои пространственного заряда, во многом ответственные за высокую молниевую активность мезомасштабных конвективных систем. Вопрос о механизме и закономерностях образования слоя положительного заряда в окрестности нулевой изотермы остается дискуссионным. Разработанная в ИПФ модель [6], основанная на механизме разделения зарядов при таянии ледяных частиц (см. рис.3), удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

Другими примерами работы электрического динамо служат электризация и разрядные явления при пылевых и снежных бурях, при вулканических извержениях, ядерных взрывах в атмосфере, в технологических процессах, связанных с пере-

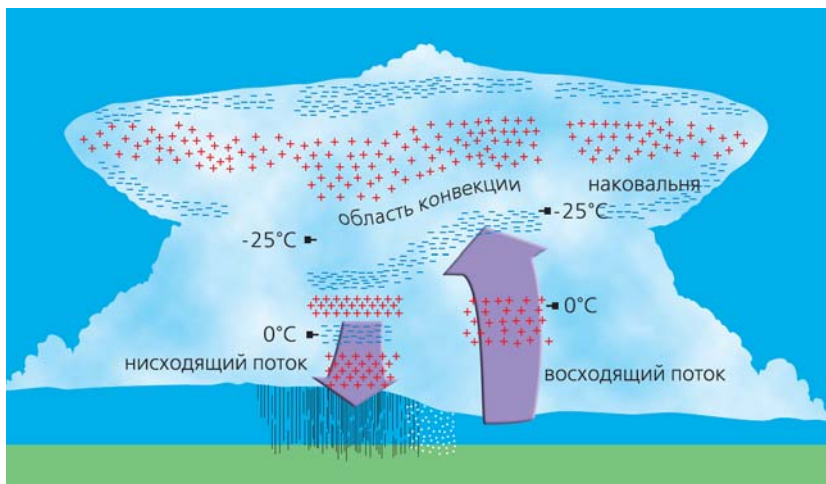


Рис.2. Схематическое изображение типичного конвективного грозового облака (По: Stolzenburg M. et al. // J. Geophys. Res. 1998. V.103. P.14097—14108).

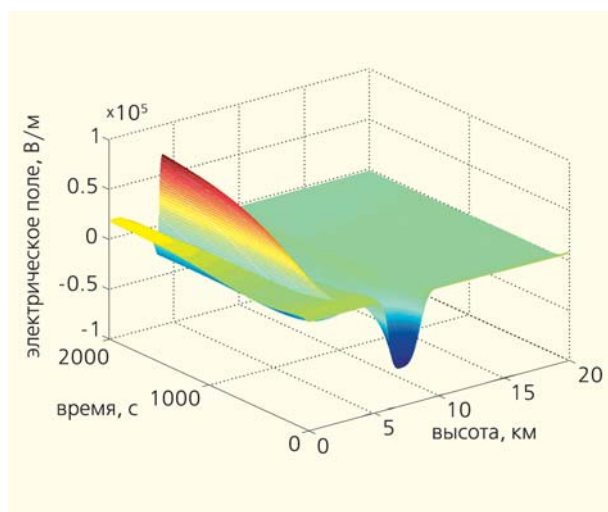


Рис.3. Формирование слоя положительного заряда при таянии ледяных частиц вблизи нулевой изотермы на высоте около 4 км [6]. Расчеты показывают, что за 10 минут образуется структура поля с максимумом около 50 кВ/м (подъем слева).

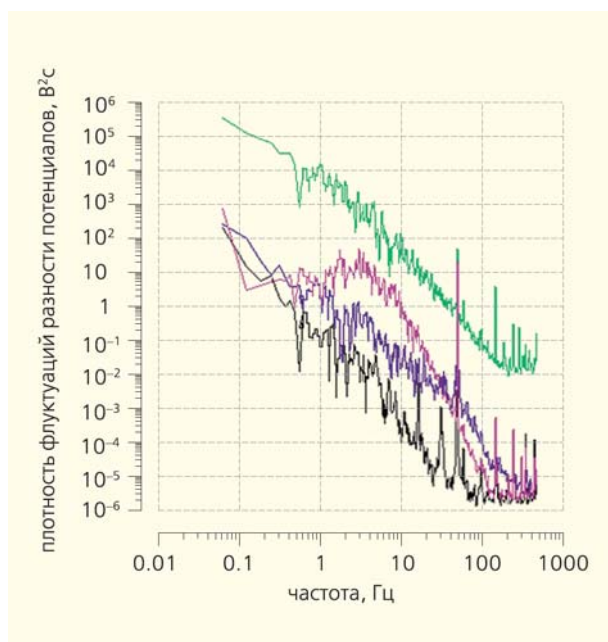


Рис.4. Спектры электрогазодинамической турбулентности (лабораторное моделирование). Видно, что под влиянием капель воды (фиолетовая кривая), внешнего поля (бордовая кривая) и обоих этих факторов (зеленая кривая) возмущения потенциала в потоке слабоионизованного воздуха (черная кривая – в отсутствие этих факторов) существенно возрастают. Подъем спектра на частотах несколько Гц определяется величиной внешнего поля и масштабом занятой им области.

мешиванием аэрозольных потоков, например в мукомольной промышленности.

Наличие мощных конвективных и турбулентных потоков в грозовых облаках, а также приведенные выше случаи электризации указывают, что взаимодействие крупных заряженных частиц (с размерами 0.1–10 мм) с частицами микрометрового размера в движущейся проводящей газовой среде играет важную роль для электрического динамо. Многофазный и многопотоковый характер среды приводит в конечном итоге к эффективной трансформации механической энергии в электрическую. В ИПФ разработаны теоретические модели такого взаимодействия в случае регулярного и турбулентного движения воздушной среды [9–11] и создана экспериментальная установка для лабораторного моделирования подобных явлений [7]. В среде, состоящей из встречных потоков слабоионизованного воздуха (восходящий поток) и водяных капель (нисходящий поток), моделирующей нижнюю часть развитых облаков, были исследованы спектры электрогазодинамической турбулентности (рис.4). Методику измерения таких спектров можно использовать для диагностики компактных областей сильного поля (50 В/см и более) в грозовых облаках, что необходимо при изучении проблемы инициации молнии.

Как стартует молния

Проблема инициации молниевых разрядов остается одной из наиболее острых и объединяет целый комплекс вопросов. Кратко остановимся на двух из них.

Во-первых, как показали измерения на баллонах, ракетах и самолетах, максимальная напряженность электрического поля в грозовых облаках не превышает обычно 2 кВ/см, что существенно ниже порога пробоя сухого воздуха на рассматриваемых высотах (около 10 кВ/см). В грозовом облаке, однако, разряд развивается во влажном воздухе, содержащем частицы различного размера. Естественно предположить, что пороговое поле достигается в компактной пространственной области (например, на масштабе менее 10 м или вообще на микромасштабах из-за усиления поля на частицах) и на довольно короткое время, так что обычные датчики поля не обеспечивают требуемого пространственно-временного разрешения при регистрации. Альтернативным объяснением инициации искры в достаточно слабом поле может служить развитие лавины быстрых (так называемых убегающих) электронов с энергией порядка 1 МэВ. Такие электроны могут ускоряться в поле облака благодаря падению силы торможения с ростом энергии частицы. Порог развития лавины почти на порядок ниже обычного порога пробоя сухого воздуха, поэтому при наличии затравочных частиц высокой энергии, которые по-

ставляются космическими лучами, развитие лавины в облаке может породить локализованную область высокой проводимости, способную инициировать искру [4].

Во-вторых, классическая теория газового разряда не позволяет объяснить быстрый переход облачной среды в проводящее состояние на предварительной стадии молнии. Недавно был предложен и исследован новый сценарий этой стадии, связанный с достижением облаком режима самоорганизованной критичности [10]. В модели электрических ячеек (с характерным размером $\sim 1-30$ м) со случайно растущим в пространстве и времени потенциалом отдельный мелко-масштабный пробой между парой ячеек способен вызвать «эпидемию» внутриоблачных микроразрядов — разыгрывается стохастический процесс фрактальной «металлизации» внутриоблачной среды. Данная модель хорошо описывает экспериментально наблюдаемые особенности предварительной стадии грозового разряда, в том числе динамику микроразрядов и характеристики радиоизлучения. В рамках трехмерной модели фрактальная динамика таких разрядов ведет к быстрому переходу облачной среды в состояние, напоминающее объемную паутину из динамических проводящих нитей, на фоне которых и формируется видимый глазом лидерный канал молнии — проводящий плазменный канал, по которому переносится основной электрический заряд [7, 11, 12].

Изучение грозовых явлений включает и эксперименты по искусственной инициации молний (триггерная молния) [1]. Чтобы вызвать разряд в атмосфере под грозовым облаком, обычно используют ракету, которая тянет за собой заземленный провод. Как оказалось, инициация происходит при достаточно высокой напряженности поля на поверхности земли под облаком — не менее $5 \div 10$ кВ/м. Впервые такая (классическая) схема иницирования была реализована в 1960 г. с борта исследовательского судна. С тех пор проведено около тысячи успешных экспериментов; благодаря им была детально исследована физика восходящего и стреловидного лидеров, возвратного удара, механизма М-компоненты — внезапного усиления светимости молниевых каналов из-за резкого усиления тока.

Сегодня открываются новые возможности для управления молниевыми разрядами, в том числе с помощью лазеров. Так, мощные лазеры способны организовать протяженные плазменные каналы в воздухе, которые могли бы инициировать и направлять молниевые разряды подобно металлической проволоке в триггерной молнии. В экспериментах, проведенных в ИПФ, был исследован механизм инициации разряда в постоянном электрическом поле с помощью плазменного канала (филамента), создаваемого мощным фемтосекундным лазерным импульсом в атмосферном

воздухе (в том числе при наличии в нем водного аэрозоля). Оказалось, что электрический пробой в таком канале обусловлен нагревом и последующим разрежением газа в нем, а энерговыделение обеспечивается током, который поддерживается постоянным электрическим полем в распадающейся плазме, порожденной лазерным импульсом. В проведенных экспериментах наблюдалось снижение пробойного поля в несколько раз, что чрезвычайно важно для понимания механизмов инициации разрядов в грозовом облаке.

Гамма-излучение грозы?

На возможность ускорения электронов до релятивистских энергий в поле грозового облака указал еще Ч.Вильсон в 1925 г. В наши дни эта гипотеза подтвердилась: о генерации релятивистских частиц и квантов высокочастотного излучения в атмосфере, коррелирующих с грозовой активностью, свидетельствует целый ряд экспериментов. Так, измерения на баллонах выявили аномальный рост интенсивности рентгеновского и гамма-излучения (на два-три порядка) в течение примерно минуты с максимумом спектра в области $50-60$ кэВ. Наземные наблюдения тоже обнаружили интенсивные вспышки рентгеновского излучения с энергией квантов в несколько сотен кэВ, появление которых коррелировало с формированием лидера молниевой вспышки и стреловидного лидера триггерной молнии. Наконец, за последние несколько лет были опубликованы результаты наблюдений со спутников всплесков гамма- (с энергией квантов порядка и более МэВ), рентгеновского и ультрафиолетового излучения атмосферного происхождения.

Для объяснения этих явлений в ряде работ привлекаются упомянутые выше новые для атмосферной электродинамики явления — генерация убегающих электронов и пробой на убегающих электронах [4, 5]. Энергичные кванты могут возникать в результате тормозного излучения быстрых электронов, взаимодействующих с молекулами воздуха. Модели, разработанные авторами работ [4, 5], описывают различные ситуации, включая развитие лавины быстрых электронов при наличии широкого атмосферного ливня космических лучей и пробой на убегающих электронах в сильном поле ступенчатого лидера молнии.

Следует отметить, что рост числа быстрых электронов в поле грозового облака при наличии широкого атмосферного ливня сопровождается рождением большого количества вторичных частиц, и это приводит к генерации импульсов тока и радиоизлучения. Если энергия первичной частицы достаточно велика ($10^{17} \div 10^{19}$ эВ), короткий (несколько микросекунд) импульс радиоизлучения может иметь огромную энергию (до 1 МДж), что объясняет появление так называемых узких

биполярных импульсов, наблюдаемых иногда при наземных и спутниковых радиоизмерениях и коррелирующих с грозовой активностью [5]. Формирование столь интенсивных импульсов тока представляет интерес как для понимания механизма генерации молнии, так и для изучения космических лучей сверхвысоких энергий.

Интересно, что наличие ячеистой структуры электрического поля в грозовом облаке с амплитудой, превышающей порог «убегания», оказывается существенным для процесса ускорения электронов до релятивистских энергий [13]. Случайно ориентированные электрические ячейки наряду с ускорением резко увеличивают время жизни релятивистских электронов в облаке благодаря диффузионному характеру их траекторий. Это позволяет объяснить значительную продолжительность всплесков рентгеновского и гамма-излучений и характер их взаимосвязи с молниевыми вспышками.

Роль космических лучей для атмосферного электричества должны прояснить эксперименты по исследованию их корреляции с грозовыми явлениями [4]. Такие эксперименты ведутся в настоящее время на Тянь-Шанской высокогорной научной станции Физического института РАН и на Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН.

Высотные разряды в атмосфере

Мощный импульс изучению грозового электричества в самом конце XX века дали наблюдения разрядных явлений в средней атмосфере, коррелирующих с грозовой активностью, — спрайтов (область свечения простирается от высот 50–55 км до 85–90 км над землей, а длительность вспышки составляет от единиц до десятков миллисекунд), эльфов (высоты — 70–90 км, продолжительность менее 100 мкс) и джетов (разряды, стартовые в верхней части облака и распространяющиеся порою до мезосферных высот со скоростью около 100 км/с). Регистрация высотных разрядов и диагностика их характеристик осложнены из-за малого времени жизни и спорадической природы грозовых разрядов. Отчасти поэтому до сих пор физические модели спрайтов, эльфов и джетов остаются предметом дискуссий. Пожалуй, наибольшая информация к настоящему времени накоплена о спрайтах (рис.5). Оптическая вспышка в мезосфере возникает через несколько миллисекунд после положительного разряда облако—земля, иногда на удалении несколько десятков километров по горизонтали от канала молнии. Разряд зажигается на достаточно большой высоте, поскольку порог пробоя воздуха падает с высотой экспоненциально, тогда как амплитуда возмущений электрического поля, возникающих в момент мощных молниевых вспышек облако—земля, уменьшается

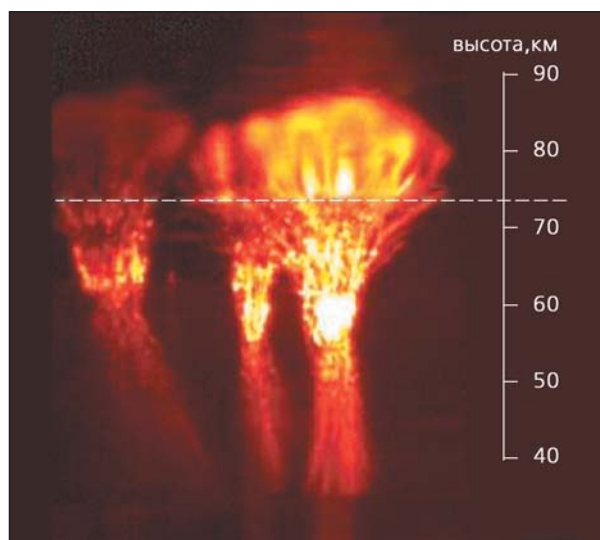


Рис.5. Фотография спрайта (По: Pasko V.P., Stenbaek-Nielsen H.C. // *Geophys. Res. Lett.* 2002. V.29 (A10); doi: 10.1029/2001GL014241).

с высотой гораздо медленнее — по степенному закону, и на высотах примерно 75 км в атмосфере превышает пробойное поле (рис.6).

За последнее десятилетие изучение высотных разрядов в атмосфере превратилось в обширное, интенсивно развивающееся направление геофизической электродинамики [1, 4–6]. И хотя этап накопления данных, характеризующих морфологию этих явлений, отнюдь не завершен, уже можно перейти к исследованию более тонких особенностей структуры и динамики высотных разрядов и их роли в глобальной электрической цепи и балансе малых составляющих атмосферы [6].

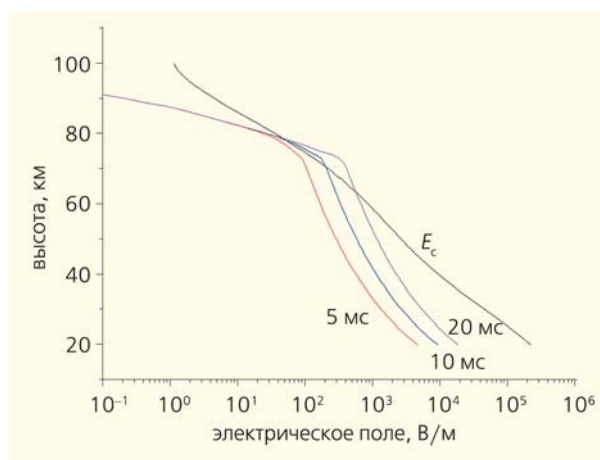


Рис.6. Профили электрического поля на стадии непрерывного тока молнии в различные моменты времени после начала вспышки. E_c — профиль порогового поля зажигания спрайта.

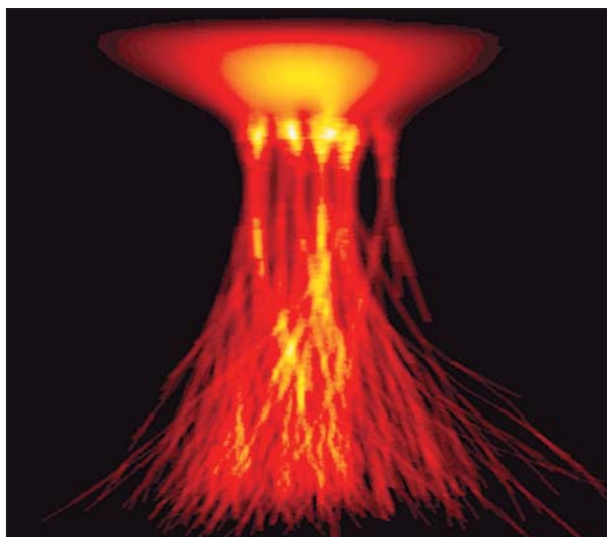


Рис.7. Изображение спрайта, полученное в рамках модели, основанной на теории направленной перколяции. Модель описывает ряд наблюдаемых в экспериментах особенностей тонкой структуры и динамики развития спрайтов.

Эксперименты и теоретические расчеты показывают, что эти разряды должны рассматриваться как часть динамического процесса, включающего формирование структуры поля и заряда в облаке и молниевый разряд на землю. Широко обсуждаются различные подходы к моделированию, в том числе с привлечением механизма убегающих электронов [4–7]. В ИПФ, в частности, была разработана модель генерации электрического поля в средней атмосфере, которая учитывает особенности распределения заряда и его динамики в мезомасштабных конвективных системах, служащих одним из главных источников положительных разрядов на землю. Развита фрактальная модель, позволяющая описывать тонкую структу-

ру и динамику спрайтов: спрайт представляется как сеть микроразрядов (стримеров) и развивается как самоподдерживающийся процесс во внешнем поле. Наряду с упоминавшимся выше процессом фрактальной металлизации грозового облака, мы имеем здесь еще один пример самоорганизованной критичности, когда динамика системы (в данном случае высотного разряда) обусловлена достижением порога так называемой направленной перколяции (протекания), которая характеризует формирование разветвленных проводящих каналов, перекрывающих всю длину спрайта (рис.7).

Ближайшие перспективы в изучении высотных разрядов в атмосфере связаны с проведением координированных наземных и космических экспериментов, а также с разработкой новых методов диагностики параметров высотных разрядов, в том числе с использованием возможностей радиоволновой диагностики.

Электричество хорошей погоды

Электрическое поле атмосферы очень изменчиво. Напряженность вертикальной компоненты поля (которая обычно много больше горизонтальной) достигает нескольких кВ/м при осадках, поземках и грозовой облачности. Поэтому вводится понятие условий хорошей погоды, соответствующих скорости ветра не более 6 м/с в отсутствие всякого рода осадков, инея, тумана, нижней облачности. Но даже в этих условиях вблизи поверхности Земли существует электрическое поле напряженностью около 150 В/м, вдоль которого в слабо проводящем воздухе течет электрический ток с плотностью несколько пА/м². Это поле «дышит» — меняется во времени и пространстве, причем колебания относительно среднего значения могут составлять от единиц до десятков процентов. Измерения электри-

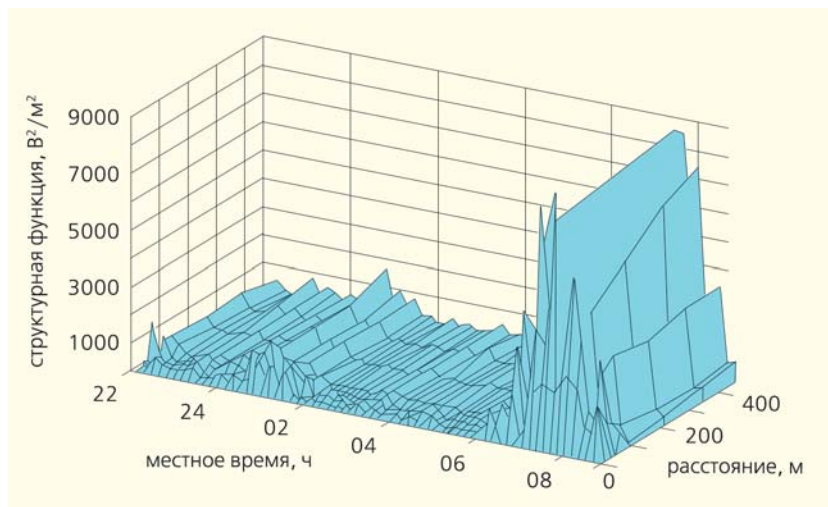


Рис.8. Пример структурно-временного анализа данных эксперимента по измерению электрического поля в условиях тумана (Борок, 15—16 сентября 1999 г. [15]). Видно формирование «гигантской» аэроэлектрической структуры около 8 ч утра местного времени 16.09.99.

ческого поля, тока и проводимости в условиях хорошей погоды служат мощным средством изучения электрического состояния атмосферы. Однако использовать его можно, только научившись разделять глобальные (т.е. планетарного масштаба), региональные (с масштабом порядка высоты нейтральной атмосферы 100 км) и локальные возмущения электрических параметров. Последние, в свою очередь, напрямую связаны как с изменениями ионно-аэрозольного состава, так и с динамикой среды. В исследованиях ИПФ совместно с Геофизической обсерваторией «Борок» Института физики Земли РАН было установлено, что пограничный слой атмосферы характеризуется наличием аэроэлектрических структур, проявляющихся в короткопериодных (с периодами от единиц до нескольких сотен секунд) пульсациях электрического поля со степенными спектрами [14]. Особый интерес представляет электродинамика тумана. Натурные наблюдения показали, что в условиях тумана в диапазоне частот 10^{-2} –1 Гц также реализуются степенные спектры пульсаций поля, но интенсивность пульсаций увеличивается более чем на порядок по сравнению с условиями хорошей погоды, что объясняется диффузионной зарядкой капель в приземном слое. Результаты структурно-временного анализа позволили выделить два вида электрического состояния тумана, первый из которых характеризуется формированием интенсивных аэроэлектрических структур (рис.8), а второй — хаотическими структурно-временными вариациями поля и тока [15].

Глобальная электрическая цепь

Мы подошли к одной из самых волнующих загадок атмосферного электричества — к вопросу о том, как устроена единая атмосферная «электрическая машина». В самом деле, электричество

хорошей погоды неразрывно связано с грозовым электричеством и составляет часть распределенного токового контура — глобальной электрической цепи (ГЭЦ, рис.9). Физической причиной формирования ГЭЦ в атмосфере служит резкий рост проводимости воздуха с высотой. Вблизи поверхности Земли проводимость воздуха очень мала и составляет $(2+3) \cdot 10^{-14}$ См/м, что соответствует концентрации легких ионов около 10^3 см⁻³. С ростом высоты благодаря увеличению уровня ионизации, определяемого до 40 км галактическими космическими лучами, а выше — ультрафиолетовым и рентгеновским излучением Солнца, проводимость растет почти экспоненциально с характерным масштабом 6 км. Уже на высоте D-слоя ионосферы (около 80 км) она увеличивается более чем на 10 порядков по сравнению с тропосферой. Проводимость земли в поверхностном слое (и тем более воды в океане) тоже превышает проводимость пограничного слоя атмосферы на 10–12 порядков. Таким образом, постоянно функционирующие грозовые генераторы оказываются сосредоточенными в достаточно узком слабо проводящем слое между земной поверхностью и ионосферой. Часто при упрощенном описании ГЭЦ земная поверхность и нижняя граница ионосферы (около 60–70 км) рассматриваются как обкладки гигантского сферического конденсатора, который разряжается в областях хорошей погоды и заряжается в областях грозовой активности. При этом квазистационарные токи зарядки не замыкаются полностью на землю вблизи грозовых облаков, а частично «затягиваются» в вышележащую область высокой проводимости и растекаются по ионосфере. Считается, что именно квазистационарные токи в первую очередь «несут ответственность» за поддержание разности потенциалов ≈ 350 кВ между ионосферой и землей. Так как верхняя часть большинства грозовых облаков имеет положительный заряд, потенциал ионосферы также оказывается положительным, и в обла-

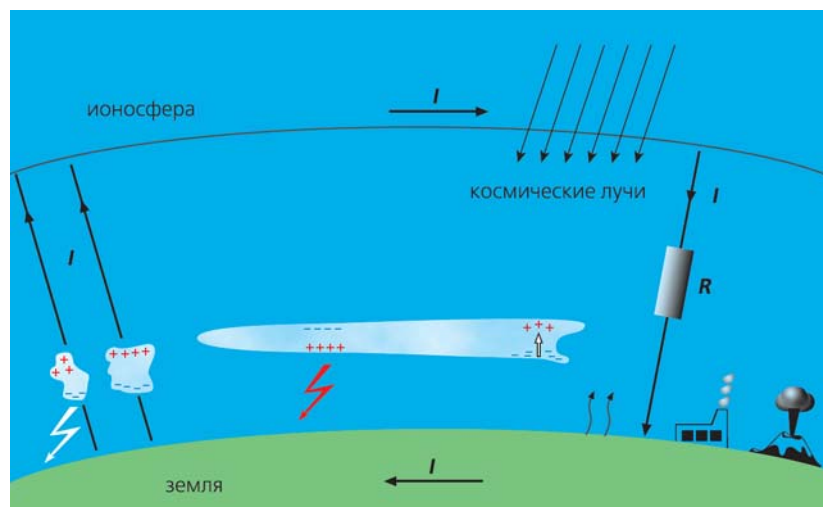


Рис.9. Схематическое изображение глобальной атмосферной электрической цепи.

тях хорошей погоды электрическое поле направлено вниз, обуславливая тем самым токи проводимости, замыкающие ГЭЦ. Если бы действие генераторов прекратилось, разность потенциалов между поверхностью Земли и ионосферой исчезла бы за время около 8 мин. Наряду с грозowymi генераторами, потенциально важным источником атмосферного электричества может служить планетарный электрический генератор, обусловленный нетвердотельным характером вращения плазменной оболочки планеты [7, 16].

Чтобы понять в деталях механизм работы ГЭЦ и ее роль в системе солнечно-земных связей, разобраться в пространственно-временной динамике, необходимы комплексные эксперименты, включающие унифицированные высокоточные измерения электрического поля и тока на региональных масштабах (больше 100 км) и измерения интегральной активности грозowych генераторов. Такие эксперименты ведутся сейчас в ИПФ в тесном сотрудничестве с коллегами из других научных организаций.

Для понимания работы ГЭЦ нужны адекватные модели грозowych генераторов, дающие возможность рассчитывать квазистационарные и импульсные токи, а также вклад генераторов в энергетику глобальной цепи. Недавно в ИПФ был предложен новый метод моделирования распределенных квазистационарных источников, позволяющий учесть особенности строения реальных грозowych систем и оценить их полный квазистационарный ток, текущий в ионосферу [17]. Результаты расчетов показали, в частности, что вклад мезомасштабных конвективных систем в глобальную электрическую цепь может существенно превосходить вклад одиночных гроз, составляя десятки ампер. Несмотря на значительное возмущение электрического потенциала в области конвекции, достигающее сотен мегавольт, основной вклад в полный вертикальный ток и структура полей и токов в окрестности мезомасштабных конвективных систем определяются областью стратификации.

С учетом последних экспериментальных данных и основанных на них теоретических оценок было создано новое описание глобальной атмосферной электрической цепи как открытой диссипативной системы, поддерживаемой в состоянии динамического равновесия поступающим в нее потоком энергии, в первую очередь энергии излучения Солнца. Установлено, что электрическая энергия генерируется преимущественно в областях пониженного атмосферного давления и в зонах холодных фронтов и составляет в среднем $5 \cdot 10^{13}$ Дж, что на два порядка выше энергии, сосредоточенной в глобальном сферическом конденсаторе земля-ионосфера. Средняя скорость диссипации электрической энергии $4 \cdot 10^{11}$ Вт превышает скорость рассеяния энергии в тектонических и магматических процессах и харак-

теризует ГЭЦ как чрезвычайно динамичную систему с очень малым временем обновления электрической энергии.

Процесс трансформации энергии в атмосфере сопровождается генерацией диссипативных структур различных масштабов, в частности конвективных систем и аэроэлектрических структур, что наглядно можно представить в виде «пирамид» накопления электрической энергии и ее диссипации в атмосфере [18]. Судя по всему, в ближайшее время изучение энергетики, структуры и динамики глобальной электрической цепи будет оставаться одной из наиболее актуальных проблем атмосферного электричества.

Грозы, климат и атмосферная химия

В заключение нельзя не сказать несколько слов о взаимосвязи атмосферного электричества с формированием состава атмосферы и климата планеты. Первые подтверждения гипотезы Ж.фон Лебега (высказанной еще в XIX в.) о том, что молнии играют значительную роль в глобальном круговороте азота, появились в середине 70-х годов XX в. после детальных измерений содержания оксидов азота NO_x . Последние влияют на концентрацию, распределение озона и гидроксильных радикалов в атмосфере и тем самым — на баланс солнечной радиации и климат. Один из новых и совершенно не изученных вопросов — возможное влияние спрайтов и джетов на состав средней атмосферы.

Однако учет электродинамических явлений в моделях климата необходим не только в связи с действием грозowych разрядов как источника оксидов азота в атмосфере. Не менее важен вопрос о параметризации грозowych разрядов как источника пожароопасности. В частности, очень большое значение имеет полярность разрядов облако—земля с точки зрения величины энерговыделения на стадии непрерывного тока молнии, а также возможные сценарии разделения зарядов облака при наличии избыточной концентрации частиц дыма (продуктов горения) и пыли. Наконец, первостепенной задачей является оценка влияния динамики заряженных аэрозолей на интенсивность осадков и радиационный баланс атмосферы.

Далеко не все проблемы атмосферного электричества нашли отражение в статье. Но уже из краткого обзора становится понятным, почему в последнее время интерес к этим проблемам резко возрос. Прежде всего, это обусловлено пониманием атмосферного электричества как важного фактора окружающей среды, тесно взаимосвязанного с другими составляющими природного комплекса планеты и воздействующего на жизнедеятельность человека. Наряду с известными эффектами (выведение из строя систем электронного обеспечения, воздействие на авиацию, пожаро-

опасность) и совершенствованием методов их контроля, все большее внимание привлекают проблемы электромагнитного загрязнения и его воздействия на экосистемы и человека, а также роли глобальной электрической цепи в системе солнечно-земных связей и климатической систе-

ме Земли. Очевидно, что данная область исследований чрезвычайно насыщена интересной физикой. Можно не сомневаться, что активная работа здесь не только поможет разобраться со «старыми» загадками атмосферного электричества, но и принесет множество новых. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 04-02-16632 и 04-02-17405.

Литература

1. *Rakov VA., Uman MA.* Lightning: physics and effects. Cambridge, 2002.
2. *MacGorman D.R., Rust W.D.* The electrical nature of storms. Oxford, 1998.
3. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* Физика молнии и молниезащиты. М., 2001.
4. *Гуревич А.В., Зыбин К.П.* // УФН. 2001. Т.171. №11. С.1177—1199.
5. *Gurevich A.V., Zybin K.P.* // Physics Today. 2005. P.37—43.
6. Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges // NATO Science Series. V.225 / Eds. M.Fullekrug, E.Mareev, M.Rycroft. Boston; Dordrecht; L., 2006.
7. «Физика атмосферы: электрические эффекты, радиофизические методы исследований». Труды Совещания по Программе ОФН и ОНЗ РАН / Ред. Г.С.Голицын, Е.А.Мареев. Н.Новгород, 2003.
8. *Williams E.R.* // Atmos. Res. 2005. V.76. P.1—4, 272—287.
9. *Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю.* // Известия вузов. Радиофизика. 1996. Т.39. №6. С.797—814.
10. *Mareev E.A.* Turbulent electric dynamo in thunderstorm clouds // Proc. 11th Int. Conf. on Atmospheric Electricity. Huntsville, 1999. P.272—275.
11. *Трахтенгерц В.Ю., Иудин И.Д.* Актуальные проблемы электродинамики грозового облака // Известия вузов. Радиофизика. 2005. Т.48. №9. С.810—821.
12. *Иудин Д.И., Трахтенгерц В.Ю.* // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2000. №5. С.317—329.
13. *Trakhtengerts V.Y., Iudin D.I., Kulchitsky A.V., Hayakawa M.* // Phys. Plasmas. 2003. V.10. №8. P.3290—3296.
14. *Анисимов С.В., Мареев Е.А.* // ДАН. 2000. Т.371. №1. С.101—104.
15. *Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M. et al.* // Atmos. Res. 2005. V.76. №1—4. P.16—28.
16. *Беспалов П.А., Чузунов Ю.В.* // ДАН. 1994. Т.337. С.467—469.
17. *Davydenko S.S., Mareev E.A., Marshall T.C., Stolzenburg M.* // J. Geophys. Res. 2004. V.109 (D11103); doi:10.1029/2003JD003832.
18. *Mareev E.A., Anisimov S.V.* Global electric circuit as an open dissipative system. Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity. Versailles, 2003. P.797—800.

Палеонтология

Биоразнообразие Амазонии в миоцене

Очень небольшой по размеру клещ, длиной в 0.2 мм, запутавшись в нитях паутины 12 млн лет назад (миоцен), сохранился в янтаре. Группа французских специалистов из Национального центра научных исследований и Института изучения развития обнаружила этого клеща на севере Перу рядом с другим куском янтара массой в 500 г. Помимо растений, в янтаре содержатся осы, клещи, жуки и другие наземные

членистоногие. В этом районе земного шара это первые находки наземных членистоногих миоцена. Они доказывают, что в ту далекую эпоху Амазония уже отличалась значительным биоразнообразием. У животных взяты пробы на ДНК. Sciences et Avenir. 2006. №716. P.25 (Франция).

Охрана природы

Тайные захоронения слонов

Биолог М.Фэй (M.Fay; Общество наблюдений за природой, Бронкс, США), работая в мае—

августе 2006 г. на юго-востоке Республики Чад, обнаружил на небольшом удалении от национального парка «Закума» пять тайных захоронений скелетов слонов. Фэй определил, что в общей сложности там была сокрыта сотня животных, убитых ради бивней. Между тем в Чаде охота на этих гигантов и нелегальная торговля бивнями запрещены с 1989 г. В 70-е годы прошлого века этот национальный парк, площадь которого составляет 3000 км², насчитывал 300 тыс. слонов, теперь их численность не превышает 10 тыс. Sciences et Avenir. 2006. №716. P.38 (Франция).

Вамейваском

Международный полярный год 2007—2008



В.М.Котляков, Э.И.Сарухян

Интерес человечества к полярным областям Земли, особенно к Арктике, имеет многовековую историю. Достаточно вспомнить поход в XI в. (1032 г.) двинского посадника Улебы к «железным воротам» (пролив между о.Вайгач и Новой Землей) или же основание Мангазеи и плавания в Карском море [1]. Примером первой, как мы сейчас говорим, крупномасштабной экспедиции в Арктику служит Великая Северная экспедиция (1728—1741) по наказу Петра Великого, который писал в 1724 г.: «Вспомнил то, чем мыслил давно и что другие дела предпринять мешали, т.е. о дороге через Ледовитое море в Китай и Индию. Не будем ли мы в исследованиях такого пути счастливее голландцев и англичан» [1]. Результаты экспедиции общеизвестны и на протяжении трех последующих веков были приумножены героическими экспедициями российских и зарубежных исследователей, что в итоге привело к открытию и освоению не только Северного морского пути, но и обширных арктических пространств.

История исследований Антарктики более молода, но тем не менее и она насчитывает около двух веков со времени открытия Антарктиды экспедицией Ф.Ф.Беллингаузена и М.П.Лазарева (1820—1821). Здесь, особенно в XX в., были сделаны многочисленные пионерские



Владимир Михайлович Котляков, академик, директор Института географии РАН, заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, почетный президент Русского географического общества (РГО), специалист в области географии и гляциологии. В последние десятилетия разрабатывает проблемы глобальных изменений окружающей среды. Лауреат Государственной премии Российской Федерации (2001), Российской независимой премии «Триумф» (2004). Награжден Большой золотой медалью РГО (2004), Золотой медалью РАН им.Л.С.Берга (2005) и другими медалями. Представитель России в Объединенном комитете по подготовке и проведению Международного полярного года (МППГ) 2007—2008.

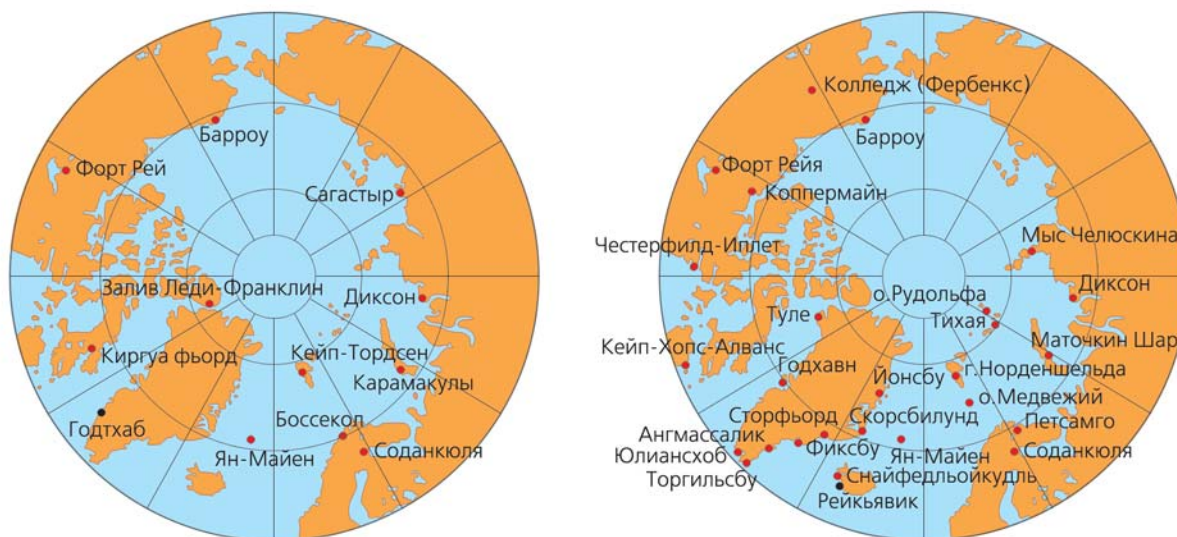


Эдуард Иосифович Сарухян, доктор географических наук, специалист в области метеорологии и океанологии. Занимается проблемами циркуляции Южного океана, взаимодействия океана с атмосферой, изменения климата. Участник дрейфа станции «Северный полюс-19», руководитель трех морских антарктических экспедиций. В настоящее время специальный советник Генерального секретаря Всемирной метеорологической организации по МППГ 2007—2008.

открытия, исследован крупнейший современный ледниковый покров, изучены коренной, подледный рельеф материка, интенсивность образования айсбергов и многое другое.

Мысль о необходимости проведения комплексных ис-

следований полярных областей планеты на основе широкого международного сотрудничества зародилась более 100 лет назад и была высказана известным австрийским полярным исследователем К.Вайпрехтом в 1875 г. в докладе «Основные



Арктические станции: слева — в период Первого Международного полярного года (1882—1883), справа — Второго (1932—1933).

принципы исследования Арктики», представленном на 48-й Ассамблее физиков и естествоиспытателей [2].

Отмечая важную роль полярных областей в формировании климата планеты, Вайпрехт предложил окружить район Северного полюса кольцом станций, на которых проводились бы наблюдения в течение года с помощью одинаковых приборов и по единым методикам. Спустя четыре года, потребовавших настойчивых усилий, Международный метеорологический конгресс (1879) одобрил проект проведения Первого Международного полярного года (МПГ), состоявшегося в 1882—1883 гг. [3]. В нем принимали участие 12 стран, организовавших 12 станций в Северном полушарии и две в Южном, на которых проводились геомагнитные и метеорологические наблюдения, в том числе наблюдения за полярными сияниями. К сожалению, сам Вайпрехт скончался за год до начала работ от туберкулеза, полученного в его последней арктической экспедиции, и Международный полярный год проводился под руководством Между-

народной полярной комиссии, созданной Международной метеорологической организацией (ММО) и возглавлявшейся в начале Г.фон Неймайером (Германия), а затем Г.Вильде (Россия).

В задачу настоящей статьи не входит описание всех событий Первого МПГ, о них подробно рассказывалось в публикациях прежних лет, в частности в книге историка В.М.Пасецкого [4]. Следует лишь отметить, что несмотря на ограниченность числа станций и технических средств, результаты первого МПГ подтвердили основную идею, высказанную Вайпрехтом, — исследования полярных областей на основе многостороннего международного сотрудничества приносят гораздо более значительные результаты, нежели те, которые могут быть достигнуты в ходе отдельных национальных экспедиций.

Именно поэтому спустя 50 лет, в 1932—1933 гг., состоялась Второй Международный полярный год, вновь организованный ММО. Его проведение было осложнено жестокой экономической депрессией, охватившей мир, но тем не менее и по масштабам работ, и по полученным

результатам он оказался более значительным. В работах принимало участие 44 страны, организовавших дополнительные метеорологические и геомагнитные станции в Арктике, а также специальные экспедиции с использованием судов и самолетов. Количество станций в Арктике достигло 27, в Антарктике семи. На них производились наблюдения по метеорологии, геомагнетизму, земным токам, радиации и содержанию озона. Примечательным обстоятельством стало использование аэрологических радиозондов, изобретенных П.А.Молчановым и продемонстрированных им на первом заседании международной комиссии по проведению МПГ в 1930 г. [5]. В период Второго Международного полярного года состоялось знаменитое плавание ледокольного парохода «Сибиряков», впервые прошедшего из Мурманска во Владивосток за одну навигацию и открывшего регулярные плавания судов по Северному морскому пути.

Благодаря проведению Второго МПГ была организована система сбора информации о природе Арктики и ее влиянии

на соседние регионы. В период Второй мировой войны многие материалы исследований были утрачены, однако те, что сохранились, особенно в области геомагнитных наблюдений, были успешно использованы как в научных исследованиях, так и при планировании и разработке научных проектов следующего полярного года, предложенного в 1950 г. Однако в ходе обсуждения этой инициативы она была существенно дополнена предложениями об организации геофизических исследований в низких широтах. В результате в 1957 г., т.е. спустя 25 лет после Второго МПГ, был проведен Международный геофизический год (МГГ).

Он был предложен Международным советом научных союзов (МСНС) и поддержан Всемирной метеорологической организацией (ВМО), преемником ММО с 1950 г., и проводился в 1957–1958 гг. в период максимума солнечной активности усилиями 67 стран. Это было крупнейшее международное мероприятие, в ходе которого были сделаны уникальные научные открытия, создана постоянно действующая сеть научных и оперативных наблюдений в Антарктиде, проведены морские экспедиции в Южном океане, в СССР запущен первый искусственный спутник Земли. Перечисление даже основных достижений МГГ заняло бы немало страниц, но в этом нет необходимости, поскольку им посвящены научные монографии и статьи, на их основе разработаны атласы и справочники. Состоявшееся в 2006 г. празднование 50-летия российских исследований в Антарктике — один из авторов настоящей статьи (В.М.Котляков) был участником второй Советской Антарктической экспедиции [6] — ознаменовалось новой волной публикаций. В нашей статье хотелось бы вспомнить тех, кто был первопроходцем в этих исследованиях, — М.М.Сомова, В.Г.Корта, А.Ф.Трешникова, И.В.Максимова,

П.А.Шумского, Е.И.Толстикова, Е.С.Короткевича, А.Г.Дралкина и многих других, посвятивших жизни изучению полярных областей Земли.

После МГГ прошло почти 50 лет. И в начале 2003 г. Международный совет по науке (новое название МСНС) и Всемирная метеорологическая организация независимо друг от друга предложили организовать новый Полярный год. Это не означало, что за прошедшие годы исследования в полярных областях не проводились. С той или иной степенью интенсивности они продолжались и достигли расцвета в 80-е годы благодаря разработке крупной программы «Полярный эксперимент (ПОЛЭКС)», а также реализации отечественного проекта «ПОЛЭКС-Север» и международного «ПОЛЭКС-Юг» [7]. Однако в последнее десятилетие в силу экономических и организационных трудностей эти работы сократились. В то же время потребность в исследованиях полярных областей резко возросла. Наблюдающееся в последние годы изменение климата, достаточно резко выраженное в Арктике, развитие промышленной инфраструктуры в Арктике, в частности открытие и разработка нефтегазоносных месторождений арктического шельфа [8], изменение в силу этих причин социального положения народов Севера, необходимость дальнейшего изучения роли полярных областей в формировании климата планеты требуют интенсивных и крупномасштабных исследований полярных регионов, что, естественно, не под силу одному государству. Именно поэтому мировая научная общественность выдвинула новую инициативу, которая к тому же ознаменовала бы 125-летие Первого Международного полярного года, 75-летие Второго и 50-летие Международного геофизического года.

Международный полярный год 2007–2008 (такое офици-

альное название было принято по договоренности между ВМО и МСНС) только что начался, но уже имеет свою историю. Сначала в феврале 2003 г. была организована группа планирования для изучения возможностей проведения нового полярного года и формулировки его задач. На XIV Всемирном метеорологическом конгрессе (высший орган ВМО) в мае 2003 г. была одобрена инициатива России о сроках проведения МПГ в 2007–2008 гг. Исполнительному совету ВМО было поручено создать механизм подготовки и осуществления проекта. Самими международными организациями (ВМО и МСНС) стали спонсорами. В ноябре 2004 г. создан Объединенный комитет по подготовке и проведению Международного полярного года. Международное программное бюро МПГ было создано в Кембридже, а его подотдел — в Санкт-Петербурге.

Основная тематика была сформулирована в документе, разработанном Группой планирования МПГ, и включает следующие цели [9]: определить современное состояние окружающей среды в полярных регионах; оценить и понять изменения окружающей среды и состояния народонаселения в полярных регионах в прошлом и будущем, а также разработать прогноз будущего изменения; улучшить понимание связей и взаимодействий во всех масштабах между полярными регионами и остальной частью планеты; исследовать новые рубежи науки в полярных регионах; использовать уникальное положение полярных регионов и создать обсерватории по изучению процессов, происходящих внутри Земли, на Солнце и в космосе; изучить культурные, исторические и социальные процессы, формирующие устойчивость жизни малых северных народов и определить их уникальный вклад в разнообразие общечеловеческой культуры и общества.

Заявления стран о намерении участвовать в МПГ содержат предложения научных исследований, которые могли бы внести вклад в достижение указанных целей. Отбор заявлений о намерениях выполнялся Объединенным комитетом в составе 19 экспертов, включая 14 ведущих «полярных» специалистов в области наук о Земле, биологии, социологии, а также пять представителей международных организаций — ВМО, МСНС, Межправительственной океанографической комиссии, Международного арктического научного комитета и Научного комитета по антарктическим исследованиям.

Всего было представлено более тысячи предложений научных исследований в период МПГ 2007—2008, из которых Объединенный комитет одобрил в апреле 2006 г. в качестве основных («кластерных») 218, в том числе 166 научных проектов и 52 проекта по образованию и распространению знаний в области полярной науки.

В целом научные проекты МПГ 2007—2008 охватывают такие области знаний, как геофизика, геология, метеорология, океанология, гляциология, биология, экология и социальные науки. В связи с тем, что новый полярный год проходит спустя 50 лет после МГГ, т.е. в период после научно-технической революции, технические, логистические и коммуникационные средства существенно отличаются от тех, что использовались в МГГ. Искусственные спутники Земли, измеряющие параметры состояния окружающей среды, мощные самолеты, вертолеты, ледоколы, научно-исследовательские суда, автоматические погодные станции, заякоренные и дрейфующие буи — эти технические средства вместе с Интернетом и иерархией компьютеров создают ту уникальную техническую базу исследований, о которой не смели и мечтать ученые в 1950-х годах — в период МГГ.



Буровая вышка на российской станции Восток в Центральной части Восточной Антарктиды.

Здесь и далее фото из архива В.М.Котлякова

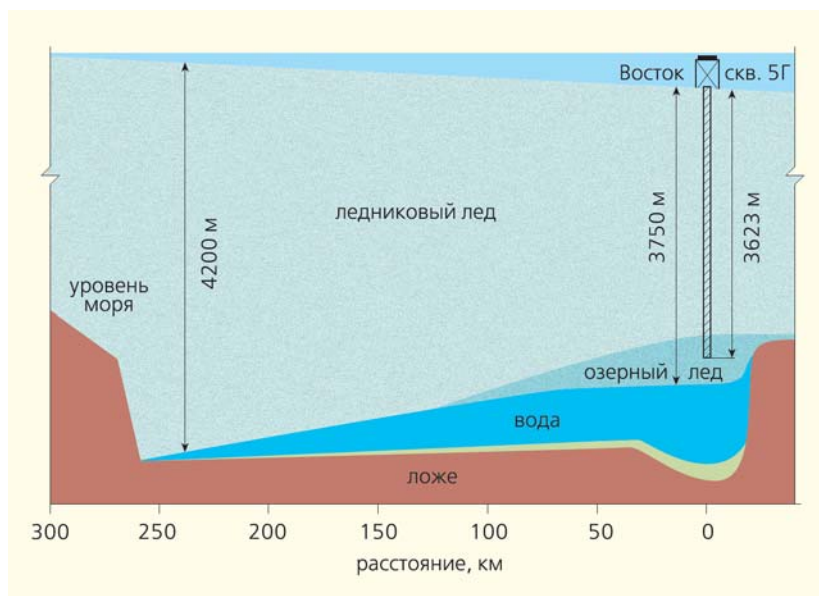


Схема глубокой скважины (5Г) на станции Восток над одноименным подледным озером. Бурение этой скважины было начато в 1970-х годах и приостановлено в 90-х годах для подготовки к проникновению в подледное озеро. Ныне бурение возобновлено с тем, чтобы в ближайшие 1—2 года войти в озеро и начать его непосредственное исследование.

Таким образом, фундаментальная концепция МПГ 2007—2008 гг. предусматривает интенсивное проведение скоординированных на международном уровне междисциплинарных научных исследований и на-

блюдений, сосредоточенных в полярных регионах Земли. Официальный период наблюдений МПГ определен с 1 марта 2007 г. до 1 марта 2009 г. Основными географическими зонами, в которых будет сконцентриро-



Хранилище ледниковых кернов из глубокой скважины со станции Восток в полярном центре штата Огайо, США.

вано проведение наблюдений, станут высокие широты, но будут поощряться исследования в любом регионе, относящиеся к пониманию полярных процессов или явлений. Планируется, что более 50 тыс. ученых и специалистов из 60 стран примут участие в МПГ. Предварительный анализ содержания проектов МПГ показывает, что они охватывают все оболочки Земли — атмосферу, океан, литосферу, криосферу и биосферу, а также околосферное космическое пространство.

В области полярной атмосферы планируемые исследования будут иметь целью изучение влияния глобальных и региональных атмосферных процессов на зарождение, эволюцию и предсказание явлений, имеющих сильное воздействие на погодные условия (к примеру, быстро перемещающихся штормов). В области химии атмосферы несомненно важным станет проведение измерений и моделирование парниковых газов и аэрозолей с целью уменьшения воздействия химических веществ на полярные экосистемы,

а также мониторинг озонового слоя с использованием наземного оборудования, оптического дистанционного зондирования и озоно-зондов, самолетов и спутников в рамках Комплексной глобальной системы наблюдений за химией атмосферы. Важную роль в реализации этих задач сыграют такие проекты МПГ, как «Сеть мониторинга антропогенного загрязнения атмосферы полярных районов», «Изучение климата, состояния аэрозоля и переноса загрязняющих веществ в полярных районах», «Озоновый слой и ультраволновая радиация в изменяющемся климате», «Межконтинентальный атмосферный перенос загрязняющих веществ в Арктике» и другие.

Несомненно, что для получения новых уникальных результатов потребуется расширение существующих и создание новых сетей наблюдений за процессами, происходящими в атмосфере. Подобные работы предусмотрены в таких проектах, как «Международная система наблюдений за атмосферой в Арктике», «Климат Антарктики и циркуляция атмосферы», «Создание обширного набора метеорологических данных в период активной фазы МПГ в Антарктике для научных и прикладных исследований».

В полярных океанах исследования будут направлены на изучение физических и химических процессов и роли океана в изменении климата. С этой целью будут созданы системы наблюдений в Арктическом бассейне и Южном океане, включая возрождение существующих и создание новых станций по измерению среднего уровня моря, расширение сетей дрейфующих буев, размещение заякоренных буев и плавучих буев АРГО, организацию научных станций на дрейфующем льду и проведение морских экспедиций в Арктике и Антарктике. Важнейшая роль в этом отношении отводится таким фундаментальным проектам МПГ, как «Ин-

тегрированная система наблюдений в Арктическом бассейне», «Климат Антарктики и Южный океан», «Взаимодействие процессов на шельфе и материковом склоне в Антарктике», «Колебания среднего уровня и приливы в полярных океанах», «Международное исследование биогеохимических циклов трасеров и изотопов в Арктическом бассейне и Южном океане».

Не меньшее внимание будет уделено изучению эволюции биологических процессов в арктических и антарктических водах и влиянию изменения климата на состояние морских организмов. Этому посвящены такие проекты, как «Морская жизнь в Антарктике», «Биоразнообразие Арктического бассейна», «Эволюция и биоразнообразие в Антарктике» и целый ряд других.

Для полярной науки и прикладных задач чрезвычайно важна разработка дальнейших возможностей наблюдения и моделирования гидрологического цикла регионов с холодным климатом и получение количественной оценки стока поверхностных вод в Арктический бассейн. В этой связи следует отметить проект «Мониторинг, моделирование и оценка гидрологического цикла в Арктике», одна из основных задач которого — получение данных о стоке поверхностных вод в Арктический бассейн в полной области водосбора с помощью специальной сети наблюдений.

Для гляциологии, в том числе для программы «Климат и криосфера», разрабатываемой в рамках Всемирной программы исследований климата (ВПИК), МПГ может стать периодом расцвета, когда с помощью наземных сетей наблюдений за вечной мерзлотой, а также состоянием ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды и динамикой ледников и морского ледяного покрова с использованием спутниковых наблюдений будут получены уникальные результаты. Эти данные лягут в основу

исследования криогенных процессов и обратных связей, посредством которых криосфера взаимодействует с другими компонентами климатической системы, они будут использованы в оценке воздействий прошлого и будущего изменения климата на компоненты криосферы, а также послужат изучению последствий таких воздействий для глобального и водного баланса, изменений уровня моря и морского ледяного покрова. Важнейшими в этом отношении станут такие проекты МПГ, как «Состояние и судьба криосферы», «Аккумуляция на поверхности и сток льда в Антарктиде», «Реакция ледников на глобальное потепление», «Обсерватория вечной мерзлоты: вклад в изучение термического состояния вечной мерзлоты», «Морской лед из космоса», «История ледникового щита Гренландии» и другие.

Положение полярных шапок Земли создает уникальные возможности для изучения взаимодействия земного и космического пространств. Изучение полярных сияний, миграции геомагнитных полюсов, проникновения космических лучей и корпускулярных потоков от солнца в полярную атмосферу составит важную область исследований МПГ 2007—2008. Создание астро- и геофизических обсерваторий вблизи полюсов Земли позволит провести исследования, предусмотренные в таких проектах, как «Влияние гелиосферы на околоземное космическое пространство», «Астрономия с полярных плато», «Полярная стратосфера и мезосфера», «Солнечно-атмосферные связи».

Отличительная черта МПГ 2007—2008 гг. по сравнению с предыдущими МПГ заключается в том, что в нем впервые запланированы социологические исследования. Это отнюдь не означает, что подобные исследования только начнутся в период МПГ, они достаточно развиты уже сейчас, однако МПГ позволит изучить социальные



Российская дрейфующая станция в центральной части Северного Ледовитого океана.



Открытие дрейфующей станции СП-32 недалеко от Северного полюса после почти десятилетнего перерыва в этих исследованиях.

условия коренного и прибывшего на Север населения на всем циркумполярном арктическом пространстве и влияние на них наблюдающихся в последние годы изменений окружающей среды, происходящих как в результате существенного изменения климата, так и под влиянием интенсивной антропогенной деятельности. Экологические

и социологические исследования в рамках проектов «Уязвимость и адаптация человеческого сообщества в Арктическом регионе», «Связь между климатом и благосостоянием человека», «Воздействие нефте- и газодобывающей промышленности на население Арктики», «Изучение условий проживания в Арктике» и других позволят полу-

чить обширные данные о влиянии крупномасштабных нарушений в Арктической экосистеме (климатические изменения, эмиссии газов, выбросы загрязняющих веществ, лесные пожары) на состояние среды обитания народов, проживающих в Арктике.

Работы по предложенным и одобренным проектам (они, конечно, зависят от степени их финансирования правительствами и международными финансовыми агентствами) станут одним из ключевых достижений МПГ в получении новых знаний о физических, биологических и социальных связях между полярными регионами и остальными частями земного шара. МПГ также создаст не имеющие прецедента возможности для коммуникаций среди обширного круга научных дисциплин и установления взаимосвязей с образованием на всех уровнях и с широкой общественностью.

Из изложенного выше явствует, что в период МПГ будут использованы новые наблюдательные системы, установлены новые станции и обсерватории. Как подчеркнул Исполнительный совет ВМО, создание международных, долговременных, многодисциплинарных сетей наблюдений должно быть особенно важным наследием МПГ 2007—2008. Наблюдательные

системы, установленные в период МПГ, станут интегральной частью существующих глобальных систем наблюдений и должны будут обеспечивать ученых и лиц, принимающих решения, реальной информацией об эволюции полярных регионов в будущих десятилетиях [10].

Как и в предыдущих международных проектах, Россия будет играть одну из ведущих ролей в Международном полярном году 2007—2008. Это вполне естественно, достаточно вспомнить образные слова выдающегося российского флотоводца и исследователя адмирала С.О.Макарова: «Россия представляет собой здание, выходящее фасадом на Северный Ледовитый океан». Активная позиция России проявляется уже в период подготовки МПГ — во многих научных проектах МПГ российские ученые выступают координаторами либо обеспечивают весомый вклад в планируемые исследования. Решением правительства в России создан Национальный организационный комитет по МПГ, возглавляемый двумя сопредседателями — А.Н.Чилингаровым, заместителем председателя Государственной Думы и специальным представителем президента РФ по МПГ, а также А.И.Бедрицким, Руководителем Федеральной службы России по

гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Помимо участия в международных проектах, Россия будет проводить обширные исследовательские работы в Арктике и Антарктике в рамках национальных проектов по МПГ, одобренных Национальным организационным комитетом.

Успех МПГ будет способствовать фундаментальному прогрессу в научном освоении полярных областей, станет важным стимулом в развитии экономики арктических районов, особенно в области добычи нефти и газа, морской и речной навигации, в увеличении товарооборота, и создаст научные основы для устойчивого развития благоприятных социальных условий для местного населения. Оно упрочит положение России как ведущей полярной державы.

Нет сомнений, что вклад российских исследователей в Международный полярный год 2007—2008 в полной мере подтвердит замечательные слова великого русского ученого М.В.Ломоносова, чьим именем назван подводный хребет в Арктическом бассейне, сказанные им по поводу Арктики, но которые с полным правом могут быть отнесены и к Антарктике: «Северный океан есть пространное поле, где усугубиться может российская слава». ■

Литература

1. Магидович И.П., Магидович В.И. Очерки по истории географических открытий. Т.3. М., 1984.
2. Weyprecht K. Principes fondamentaux de l'exploration arctique. Vienna, 1875.
3. Baker F.W.G. // WMO Bulletin. V.31. №3. 1982.
4. Пасецкий В.М. Разгадки тайна ждет. Л., 1983.
5. Короткевич Е.С. // Бюллетень ВМО. Т.31. №3. 1982.
6. Котляков В.М. Наука — это жизнь. Избранные сочинения. Кн.6. М., 2003.
7. Трешников А.Ф., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Исследования по программе Полярного эксперимента. М., 1978.
8. Дмитриевский А.Н., Беланин М.Д. Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов российского шельфа // Природа. 2004. №9. С.3—10.
9. A Framework for the International Polar Year 2007—2008. ICSU Planning Group, 2004.
10. Bedritsky A.I., Sarukhanian E.I. Global Observing Systems in support of activities in the Arctic. Proceedings of the Second International Conference on Arctic Research Planning. Copenhagen, Denmark, 10—12 November 2005 (in press).



Тысячелетия, спрессованные в минуты

М.М.Левицкий, А.Ю.Рабкина, А.Н.Биляченко

История науки знает примеры, когда исследования, проведенные в какой-либо определенной области, начинают представлять интерес для другой, иногда довольно далеко отстоящей научной отрасли. Так, изучение азокрасителей побудило создание широко известных лекарственных препаратов — сульфаниламидов. Диметил- и дибутилфталат, синтезированные вначале как пластификаторы поливинилхлорида, легли в основу целого класса репеллентов, действующих на нервные окончания обонятельных органов насекомых. Интенсивные поиски растворителя для полиакрилонитрила привели к диметилформамиду, который в итоге «возглавил» новый класс апротонных биполярных растворителей, широко применяемых в лабораторной практике и на производстве. Существует немало и других подобных примеров.

Здесь мы расскажем об изучении известного уже класса элементоорганических соединений — металлоорганосилоксанов (МОС), о найденных для них закономерностях, т.е. об интересной, хотя на первый взгляд достаточно будничной работе современного химика. Ее результаты, что было для нас неожиданным, позволили обнаружить определенное сходство изученных нами процессов с теми, которые происходят в земной коре. Начнем по порядку.



Михаил Моисеевич Левицкий, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института элементоорганических соединений РАН. Научные интересы связаны с химией кремнийорганических полимеров, координационной химией, с изучением структуры каркасных молекул, каталитическими исследованиями.

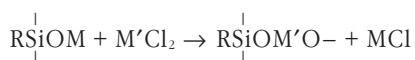
Анна Юрьевна Рабкина, кандидат химических наук, старший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — химия элементоорганических мономеров и полимеров, координационная химия.

Алексей Николаевич Биляченко, магистр, научный сотрудник того же института. Занимается синтезом каркасных и полимерных металлоорганосилоксанов, компьютерным моделированием структуры и свойств синтезируемых соединений.

© Левицкий М.М., Рабкина А.Ю.,
Биляченко А.Н., 2007

Случайные факты или закономерность?

Упомянутые металлорганосилоксаны имеют отличительный признак: фрагмент >SiR–O–M–, где кремний соединен хотя бы с одной органической группой. Наиболее распространенный способ формирования такого фрагмента — обменная реакция органосиланолата щелочного металла с галогенидом поливалентного металла:



(M: K, Na; M' — поливалентный металл).

Синтезы МОС, проводимые в разное время независимыми исследователями, давали сходные результаты. В процессе выделения или после незначительного нагревания полученные металлорганосилоксаны частично, а иногда полностью перегруппировывались. В результате этого возникали соединения, в которых содержание металла оказывалось повышенным и пониженным в сравнении с исходным. Во многих случаях образовывались силоксановые соединения, не содержащие металла, а иногда — оксиды металлов, не содержащие кремния (табл.1).

Подобные превращения исследователи обычно описывали как побочные реакции, которые вызывают скорее досаду, нежели интерес. Сведя все результаты воедино, мы заметили, что начинают протекать некое общее свойство.

Чтобы выявить закономерность более отчетливо, мы решили проверить, насколько такие процессы затрагивают олигомерные МОС. Их получают с помощью упомянутой обменной реакции, но в качестве исходных кремнийорганических соединений используют такие, в которых у атома кремния находятся не три органические группы, а две или одна. Эти соединения представляют собой органорастворимые олигомерные продукты, также склонные к перегруппировке с образованием веществ, содержащих повышенное и понижен-

ное количество металла. Обнаружить перегруппировку можно, если провести фракционирование полученных олигомеров. Интересно, что оно проходит нетрадиционно: выделяемые фракции различаются не молекулярной массой, как большинство полимеров, а содержанием металла, т.е. атомным отношением M/Si. Обычно оно постепенно уменьшается от первых фракций к последующим, изменяясь в диапазоне 1.5—0.2. Как только вещество из раствора переходит в твердую фазу, перегруппировка резко тормозится.

Попутно отметим, что работать с металлорганосилоксанами не только интересно, но и приятно, поскольку большинство из них окрашено в те же яркие цвета, которые присущи неорганическим соединениям с аналогичными ионами металлов.

Движущей силой перегруппировки служит координационная ненасыщенность металла в силоксановой структуре. Атомы кислорода в силоксановом фрагменте Si–O–Si не могут участвовать в заполнении координационной сферы металла. Причина тому — их крайне низкая основность, неизмеримо меньшая, чем, например, у атомов кислорода в простых эфирах (C–O–C). Дополнительно этот факт подтверждается тем, что до настоящего времени не получено ни одного устойчивого металлорганосилоксана, где бы в координационной сфере поливалентного металла находился силоксановый кислород.

Иные свойства у атомов кислорода в металлосилоксановом (Si–O–M) либо металлоксидном фрагменте (M–O–M). Так как их основность заметно выше, чем в Si–O–Si, кислород этих двух фрагментов всегда участвует в заполнении координационной сферы металла. Таким образом, наблюдаемая перегруппировка направлена на образование соединений с повышенным содержанием именно таких фрагментов.

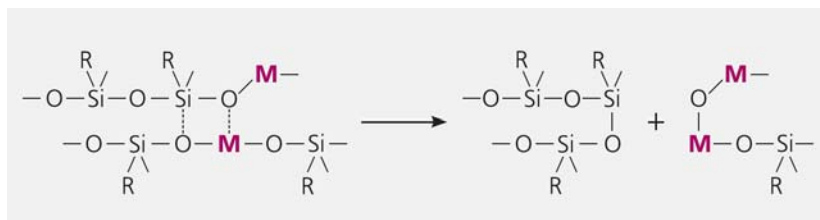
Перегруппировка протекает через стадию переходного комплекса, в результате чего в системе возникают металлоксидные фрагменты M–O–M (рис.1). Их появление нельзя объяснить обмен-

Таблица 1

Результаты перегруппировки некоторых металлорганосилоксанов (МОС)

Синтезированный металлорганосилоксан	Соединения, образовавшиеся в результате перегруппировки		Автор и год синтеза МОС
	обогащенные кремнием	обогащенные металлом	
(R ₃ SiO) ₃ VO	R ₃ SiOSiR ₃	(R ₃ SiOVO) ₂	H.Schmidbaur, 1959
Me ₃ SiOSnR ₂ OSiMe ₃	(Me ₃ Si) ₂ O	Me ₃ SiO(R ₂ SnO) ₂ SiMe ₃	R.Okawara, 1961
(Ph ₂ SiO) ₂ Hg	Ph ₂ SiO(Ph ₂ SiO) _n HgPh	Ph ₂ SiOHgPh	A.Ghosh, 1962
(Me ₃ SiO) ₂ Hg	(Me ₃ SiO) _n	Me ₃ SiOHgMe	H.Schmidbaur, 1968
Ph ₂ SiOMe	(PhSiO) _n	PhMe (M: Zn, Cd)	Г.Петухов, 1972
(Me ₃ SiO) ₂ M	(Me ₃ SiO) ₂	MO (M: Ni, Co)	D.Brandes, 1974
(Me ₃ SiOCu) ₄	(Me ₃ Si) ₂ O	(Me ₃ SiO) ₁₄ Cu ₁₈ O ₂	Th.Greiser, 1978
(Ph ₂ SiO) ₂ Pb	(Ph ₂ Si) ₂ O	[Pb ₂ (Ph ₂ SiO) _n O]	Ch.Gaffney, 1980
(Et ₂ SiO) ₂ Ti(OR) ₂	Et ₂ Si(OR) ₂	≡Ti–O–Ti≡	Л.И.Фридман, 1986

Рис.1. Схема перегруппировки металлорганосилоксана.



ной реакцией, они представляют собой исключительно итог перегруппировки.

Фрагменты M–O–M в металлорганосилоксанах, содержащих атомы железа, удалось обнаружить с помощью γ -резонансной спектроскопии [1]. (Она применяется в основном для определения структуры веществ, имеющих ядра железа или олова.) В других соединениях наличие металлоксидных фрагментов пришлось выявлять иначе. Мы выбрали фракции различных металлорганосилоксанов только с атомным отношением $M/Si \approx 1$ и далее их исследовали ИК-спектроскопией. Во всех случаях была зафиксирована интенсивная полоса поглощения в диапазоне $1100\text{--}1000\text{ см}^{-1}$, указывающая на присутствие силоксановой группировки Si–O–Si. Сопоставив этот факт с составом соединения ($M/Si = 1$), мы пришли к неизбежному логическому выводу — оно должно также содержать фрагменты M–O–M.

Чтобы детальнее изучить перегруппировку, мы провели кинетические измерения [2]. Наиболее подходящим для этой цели оказался олигомерный кобальтфенилсилоксан, поскольку за происходящими в нем изменениями можно следить спектрально — соединение меняет цвет в процессе перегруппировки. По результатам УФ-измерений зависимость оказалась линейной: $\ln(D_0/D_t) \sim \tau$ (D — оптическая плотность, τ — время), что соответствует первому порядку реакции (средняя эффективная константа скорости реакции $K_{\text{эфф}} = 4.5 \cdot 10^{-6}\text{ с}^{-1}$). Следовательно, лимитирующая стадия перегруппировки — это распад переходного комплекса; будь более медленной стадией его образование, можно было бы ожидать второй порядок реакции.

Дальнейшее изучение перегруппировки мы направили на поиск способов, которые позволили бы активно вмешиваться в процесс — замедлять его или ускорять.

Торможение процесса

Прежде чем искать способы торможения перегруппировки, следовало выяснить, чем обеспечивается стабильность структуры тех каркасных МОС, которые оказались устойчивыми к подобному превращению. В этих соединениях координационная сфера металла заполнена таким образом, что перегруппировка, вообще говоря, не требуется. Например, в полученных нами кристаллических каркасных МОС [1] ионы металла окружены

атомами кислорода либо в группе Si–O–M (с участием аниона Cl⁻; рис.2, структура 1), либо во фрагменте M–O–M (рис.2, структура 2).

Иной вариант стабилизации существует в соединении (его синтезировали с помощью обменной реакции), в котором силанолятные фрагменты Si–O–Na замещены переходным металлом не полностью, а частично (рис.2, структура 3). Ионы щелочного металла, расположенные вне металлоксанового каркаса, играют, как многим известно, роль генераторов силанолят-анионов. Они охотно участвуют в качестве лигандов в заполнении координационной сферы металла, причем количество анионов Si–O⁻ в образующихся соединениях кратно числу ионов переходного металла. А это согласуется с общими принципами заполнения координационной сферы.

Итак, стабилизация структуры стала понятна, настал черед поиска способов торможения перегруппировки. Экспериментируя с различным лигандным окружением металла в олигомерных МОС, мы установили, что по эффективности торможения процесса изученные лиганды отличаются [3]. По этой способности их можно расположить в следующий ряд: $\text{Ph}_3\text{P}, \text{Ph}_3\text{PO} < \text{SiOM} \ll \text{RSiO}^-$ (Ph — фенильный остаток). Наиболее результативным оказался силанолят-анион. Его координирующие свойства столь высоки, что он может вытеснить из координационной сферы металла даже такой «классический» для металлорганосилоксанов лиганд, как атом кислорода во фрагменте Si–O–M (рис.2, схема 4).

Схема перегруппировки (см. рис.1) подсказала нам еще один способ, позволяющий замедлить процесс. Вместо того чтобы блокировать атом металла теми или иными лигандами, можно создать иные, чисто пространственные затруднения, которые будут препятствовать образованию переходного комплекса. Для этой цели мы изменили органическое обрамление кремния: вместо жесткой малоподвижной фенильной (Ph) группы (она может только поворачиваться вокруг связи C–Si), не препятствующей межцепной координации, ввели нонильную — C_9H_{19} [4]. Эта объемистая алифатическая группа, обладая в органической среде подвижностью полимерного сегмента, «укрывает» ионы металла и тем самым эффективно затрудняет его координацию с соседними фрагментами Si–O–M (рис.3).

По результатам спектральных измерений в фенилсодержащих металлорганосилоксанах коор-

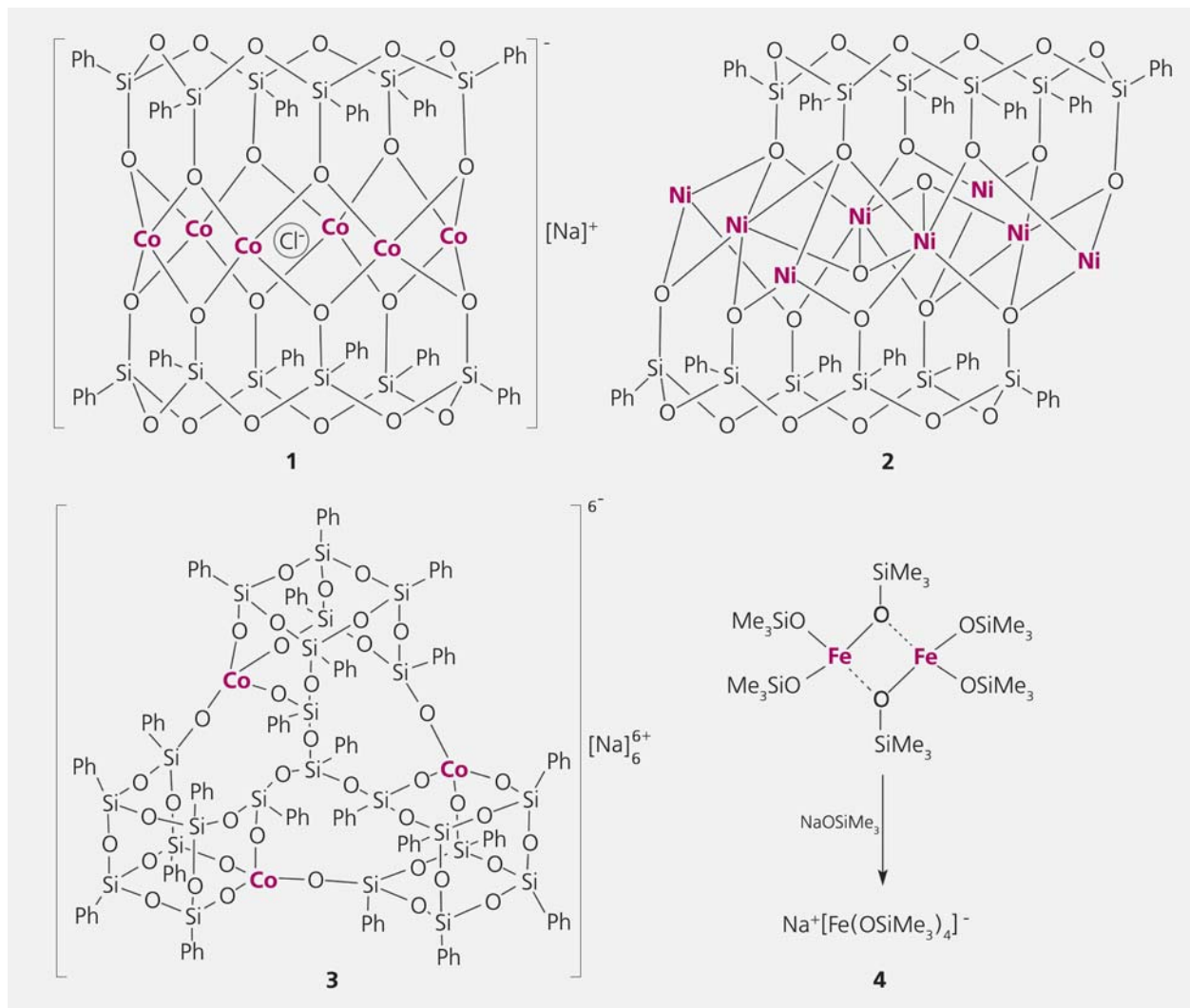


Рис.2. Варианты заполнения координационной сферы металла в металлорганосилоксанах разной структуры (1—3; сольватирующие растворители не показаны) и результат замены лиганда в координационной сфере металла (4).

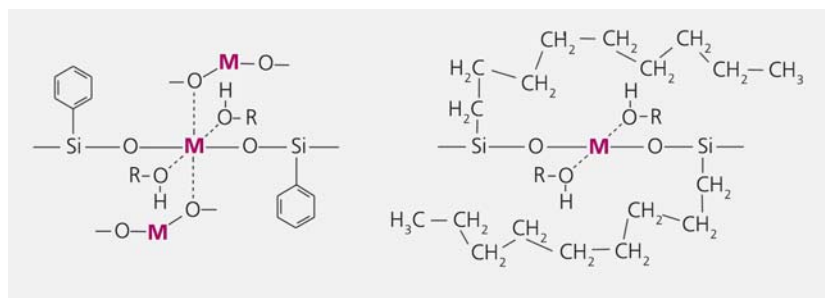


Рис.3. Координационная сфера иона металла в фенол- (слева) и нонилсодержащих металлорганосилоксанах.

динационное число ионов меди равно шести, а в нонилсодержащих — четырем (два координационных места занимает сольватный ROH). Это согласуется с результатами фракционирования: у нонилсодержащих МОС отношение M/Si изменяется во фракциях в узком диапазоне ($M/Si = 2.07-2.84$), т.е. не более чем в 1.4 раза, в то время как у фенолсодержащих в 6—10 раз.

Таким образом, мы выяснили, что наиболее эффективно тормозит перегруппировку силанолат-анион, возникающий в присутствии катиона щелочного металла. Вполне естественно предположить, что того же эффекта можно достигнуть, вводя в металлорганосилоксаны щелочноземельные металлы, поскольку электроотрицательности этих групп элементов близки (например, у нат-

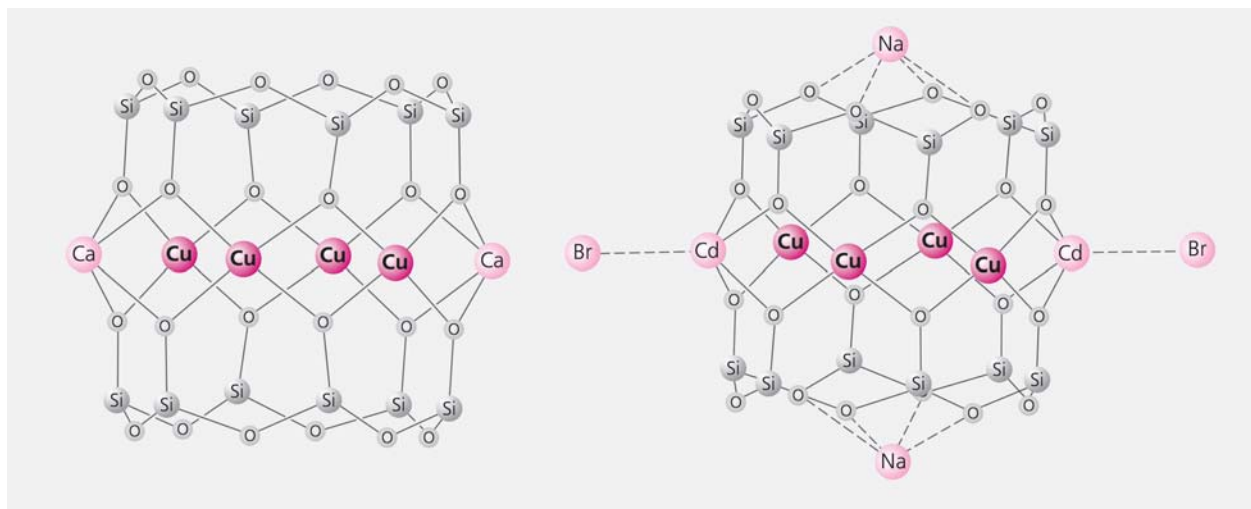


Рис.4. Структура кристаллических металлорганосилоксанов, содержащих два металла: медь и кальций (слева) и медь и кадмий. Фенильные группы, связанные с атомами кремния, и сольватирующие группы растворителей не показаны.

рия она равна 0.97, у кальция — 1.04). Мы синтезировали по методике обменного взаимодействия олигомерный биметаллический металлорганосилоксан, содержащий атомы меди и кальция. Этот МОС проявил высокую устойчивость к перегруппировке: величина отношения Si/Cu менялась во фракциях не более чем в 1.3 раза, а Si/Ca — в 1.1 раза. Малое изменение величины Si/Cu весьма показательно, поскольку для непереходных элементов (Ca) перегруппировка не характерна.

Исходя из общих соображений, можно было предположить, что двухзарядный ион кальция поставляет в систему два силанолят-аниона, т.е. для образования устойчивой структуры потребуется меньшее (в сравнении со щелочными металлами) количество Ca^{2+} . Чтобы проверить это предположение, мы снова синтезировали биметаллический МОС, но ввели в него атомов меди в два раза больше, чем кальция (рис.4, слева). Еще один биметаллический металлорганосилоксан — с ионами кадмия вместо ионов кальция (рис.4, справа) — мы синтезировали, чтобы сравнить «поведение» того и другого металлорганосилоксана.

Судя по результатам рентгеноструктурного анализа, каркас обоих соединений имеет цилиндрическую форму, в основаниях расположены силосановые циклы, соединенные металлосилоксановыми перемычками [5].

Сопоставив две полученные структуры, мы пришли к выводу, что наше предположение было верным: каждый ион Ca участвует в организации координационной сферы двух ионов Cu. Кадмий же, не будучи щелочноземельным металлом и имея более высокую электроотрицательность (1.46), чем кальций (1.04), не может поставляет

в систему силанолят-анионы. В результате образование устойчивой кристаллической структуры возможно только с участием дополнительных координирующих анионов, в нашем соединении ими были ионы Br^- (с противоионами Na^+).

Ускорение процесса

Продолжая изучать перегруппировку, мы нашли, что ее можно не только затормозить, но и ускорить. В присутствии каталитических количеств кислот Льюиса (например, галогенидов металлов) перегруппировка олигомерных МОС в растворе идет заметно быстрее, при этом металл в составе катализатора может быть не тем, что содержится в исходном металлорганосилоксане. Чаще всего превращение бывает достаточно глубоким, причем металл в форме оксида практически полностью «вытесняется» из силосановой матрицы (рис.5).

В результате удается получить силосановые компоненты в виде индивидуальных каркасных соединений (рис.5, схемы 1 и 2), которые, кстати, синтезировать иным способом довольно сложно. Полагаем, что процесс идет через образование шестичленного переходного комплекса (наиболее характерного для кремнийорганических соединений), что заметно облегчает перегруппировку (рис.5, схема 3). Существует даже возможность визуально наблюдать этот процесс не в растворе, а в твердой фазе. При нагревании порошкообразного олигомедьдиметилсилоксана до 90°C образуется жидкий октаметилциклотетрасилоксан $[(\text{CH}_3)_2\text{SiO}]_4$ и твердый оксид меди. Проще говоря, кремнийсодержащий компонент полностью отделяется от медьсодержащего (рис.5, схема 4).

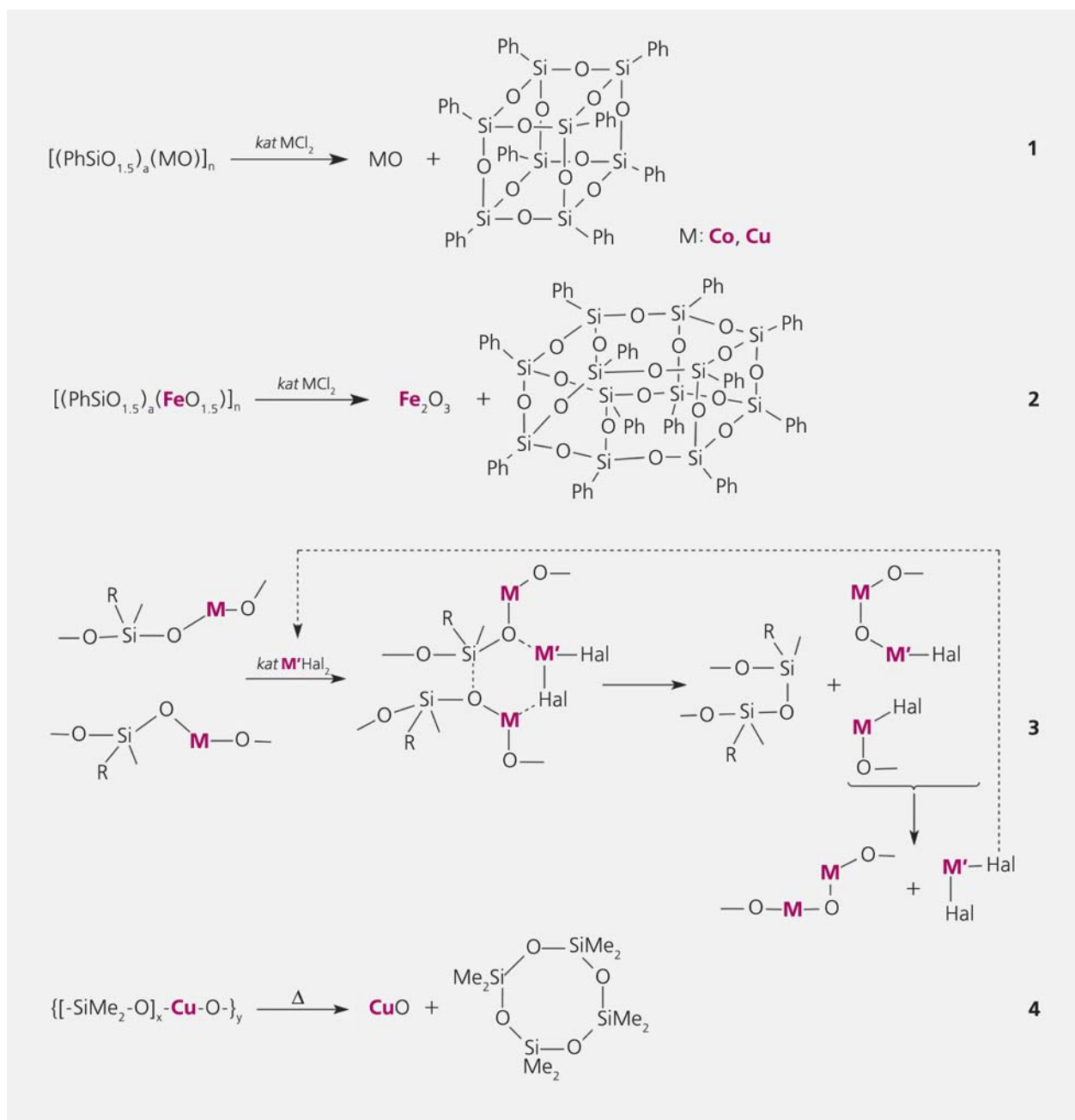


Рис.5. Схемы реакций с применением катализаторов, ускоряющих протекание перегруппировки.

В этом случае перегруппировка стимулируется тем, что образующийся циклосилоксан выделяется в виде жидкой фазы, благодаря чему равновесие эффективно сдвигается в сторону глубокого протекания реакции.

Итак, мы нашли способы торможения и ускорения перегруппировки металлоорганических силиконов. Оказалось, что эти соединения представляют собой достаточно подвижные системы, которыми можно управлять с помощью «химических рычагов».

Не только эксперимент

Полученные экспериментальные результаты отчетливо указывали на то, что МОС, которые содержат ионы переходных металлов (в отсутствие стабилизирующих факторов), неизбежно претерпевают перегруппировку. Но только обобщенного описания этой закономерности недостаточно, конечно же, требовалось подтвердить ее расчетами. Это мы и сделали для ряда модельных структур. Чтобы оценить влияние переход-

ного металла на процесс перегруппировки, был проведен сравнительный квантово-химический расчет для МОС с переходным (Cu) и непереходным (Al) металлами. Эти элементы выбраны потому, что в литературе имеются структурные данные для обоих металлоорганических силиконов (с метильными группами у кремния) — и с алюминием, и с медью. А значит, можно корректно сопоставить экспериментальные и расчетные параметры.

Производился расчет последовательных стадий перегруппировки, на каждой из которых образовывался органодисилоксан $(Me_3Si)_2O$ и уменьшалось содержание Si в металосилоксане:

$$m[(Me_3SiO_{0.5})_x(MO_{0.5x})] = [(Me_3SiO_{0.5})_{x-n}(MO_{0.5x})]_m + 0.5mn(Me_3Si)_2O,$$

где x — степень окисления металла, n — доля силоксановых фрагментов в МОС, перешедших в дисилоксан.

Продукт первой стадии далее рассматривали как исходное соединение для следующей, в результате чего соединение постепенно обогащалось металлом. Для каждой стадии определили энтальпию реакции (табл.2).

Таблица 2

Энергетические эффекты реакции перегруппировки

Уравнение реакции	Удельная ΔH (ккал/моль)*
Медьорганические силиконы	
$C_{24}H_{72}O_8Si_8Cu_4 = C_{12}H_{36}O_6Si_4Cu_4 + 2C_6H_{18}OSi_2$	-3.86
$3C_{12}H_{36}O_6Si_4Cu_4 = 2C_{12}H_{36}O_8Si_4Cu_6 + 2C_6H_{18}OSi_2$	-4.60
$4C_{12}H_{36}O_6Si_4Cu_6 = 3C_{12}H_{36}O_{10}Si_4Cu_8 + 2C_6H_{18}OSi_2$	-6.60
Алюмоорганические силиконы	
$2C_{18}H_{54}O_6Al_2Si_6 = C_{24}H_{72}O_{10}Al_4Si_8 + 2C_6H_{18}OSi_2$	+10.10
$C_{24}H_{72}O_{10}Al_4Si_8 = C_{18}H_{54}O_8Al_2Si_6 + C_6H_{18}OSi_2$	+7.63
$C_{18}H_{54}O_8Al_4Si_6 = C_{12}H_{36}O_8Al_2Si_4 + C_6H_{18}OSi_2$	+9.84
$C_{12}H_{36}O_8Al_4Si_4 = C_6H_{18}O_7Al_2Si_2 + C_6H_{18}OSi_2$	+7.15

* Удельная ΔH приведена в расчете на один ион металла.

Из полученных результатов следует, что для Cu-МОС на каждой стадии перегруппировки энтальпия отрицательна (экзотермический эффект). Значит, реакция может идти самопроизвольно. Примечательно, что при переходе от первой стадии к последующим абсолютная величина ΔH возрастает. Таким образом, протекание перегруппировки в указанную сторону энергетически выгодно.

В отличие от Cu-МОС, для Al-МОС энтальпия на каждой стадии процесса положительна. Следовательно, самопроизвольное протекание реакции затруднено, что соответствует имеющимся данным о повышенной стабильности МОС, содержащих непереходные металлы.

От металлоорганических силиконов к литосфере

Детально изучив перегруппировку МОС, мы смогли выяснить особенности ее кинетики, разработать способы направленного торможения и ускорения процесса, а также установить термодинамическую нестабильность металлоорганических силиконов, содержащих ионы переходных металлов. Неудивительно, что затем возник вопрос: могут ли проявлять себя найденные закономерности где-либо еще?

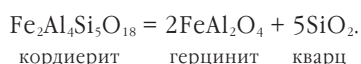
Поскольку МОС представляют собой по существу органообрамленные металлосиликаты, вполне естественно было предположить, что закономерности для МОС в какой-то степени должны воспроизводиться на их неорганических аналогах. Повторить все описанные исследования МОС с металлосиликатами невозможно, так как они нерастворимы. Но проверить результаты изучения металлоорганических силиконов нам предоставила возможность сама природа — именно металлосиликаты составляют больше 70% массы земной коры.

Вначале мы обратились к силикатным минералам, содержащим только переходные металлы [6]. Это сравнительно небольшая группа минералов, в которую входят тефрит $Mn_2[SiO_4]$, родонит $Mn_2[Si_2O_6]$, фаялит $Fe_2[SiO_4]$, ферросилит $Fe_2[Si_2O_6]$, кнебелит $(Fe,Mn)_2[SiO_4]$, хризокolla $Cu_8[Si_4O_{10}]_2(OH)_{12} \cdot nH_2O$ и циркон $Zr[SiO_4]$. Примечательно, что их природные запасы невелики.

где же тогда в основном сосредоточены переходные металлы и из чего их добывают для нужд индустрии? Оказалось, что это оксиды: Fe_2O_3 (гематит), MnO_2 (пирролюзит), Cu_2O (куприт), CuO (тенорит), TiO_2 (рутил), ZrO_2 (бадделейт). Кроме того, существует крупная группа минералов, представляющих собой смешанные оксиды, так называемые шпинели: $Fe^{II}Fe^{III}_2O_4$ (магнетит), Cr_2FeO_4 , $MnFe_2O_4$, Fe_2TiO_4 , $NiFe_2O_4$. Шпинелей, содержащих переходные металлы, несколько десятков, причем запасы этих минералов довольно велики; например, в земной коре содержатся триллионы тонн магнетита, т.е. на несколько порядков больше, чем силиката железа.

Как объяснить, что переходные металлы содержатся в земной коре главным образом в виде оксидов, а не силикатов? Можно предположить, что основная масса силикатов переходных металлов, оказавшись в условиях, благоприятных «с точки зрения» реакции перегруппировки, постепенно распадалась. Немногочисленные силикаты, имеющиеся сейчас в земной коре, вероятнее всего, сохранились потому, что затормозилась их перегруппировка из-за пониженной температуры, в условия которой они попали в результате геологических процессов, сопровождавшихся перемещением горных масс. Итак, результаты геохимических процессов в земной коре указывают на заметное сходство с теми закономерностями, которые были найдены для МОС.

Подобные процессы всегда находились в центре внимания геохимиков. Последовательность выделения минералов при кристаллизации магмы описывают в геохимии реакционными рядами Н.Боуэна, в которых происходит обогащение минерала оксидами металлов и образование кварца (очень напоминает реакции на рис.4). Кроме того, известно большое количество экспериментов, где высокотемпературные перегруппировки в минералах сопровождаются образованием оксидов металлов и кварца, например:



Полагаем, что результаты, полученные при изучении химии МОС, в ряде случаев приложимы к объяснению природных геохимических процессов. В качестве движущей силы происходящих превращений можно принять координационную ненасыщенность металла в силикоксановой матрице.

Анализируя состав минералов земной коры, мы обратили внимание на существование большой группы весьма распространенных силикатов, содержащих не одни только переходные металлы, но и — непременно — ион щелочного металла. Это, например, биотиты (К, Fe), пироксены (Na, Fe), амфиболы (К, Na, Fe, Mn, Ti). Своим существованием подобные минералы подтверждают вторую закономерность химии МОС — стабилизацию координационной сферы переходного металла силанолят-анионом, возникающим в присутствии щелочного металла.

Интересно, что существует еще одна очень крупная группа минералов, отличительный признак которых — совместное присутствие атома переходного элемента и щелочноземельного металла или магния. Не приводя точный состав минера-

лов, укажем лишь встречающееся сочетание в них тех и других металлов. Итак, оливины содержат Mg, Ca, Fe, Mn; гранаты — Mg, Ca, Fe, Mn, Cr, V; шамозиты — Fe, Mg; гарниериты — Ni, Mg. Эти весьма распространенные минералы образуют залежи большой мощности. Их состав согласуется с третьей закономерностью химии МОС: стабилизация силанолят-анионами, поставляемыми в систему щелочноземельными металлами. «Участие» в этом процессе магния вполне объяснимо — электроотрицательности натрия (0.9), кальция (1.0) и магния (1.2) довольно близки.

* * *

В заключение отметим еще раз: выявленные в нашей работе закономерности перегруппировки металлорганосилоксанов выходят за рамки элементоорганической химии, к которой традиционно относится химия кремнийорганических соединений. Найденные закономерности могут быть применены к описанию некоторых геохимических процессов и особенностей формирования определенных минералов.

Напомним, что обсуждаемая здесь перегруппировка резко тормозится, когда вещество переходит в твердую фазу. Тормозится, но не прекращается и протекает с очень малой скоростью. Результаты тех геохимических процессов, которые мы рассмотрели, представляют собой итог превращений, протекавших в литосфере в течение тысячелетий (природа никуда не торопится). Поэтому изученная перегруппировка металлорганосилоксанов привлекательна еще и тем, что позволяет моделировать процессы, которые происходили в земной коре длительное время. А проводя превращения гомогенно и с большой скоростью в среде органических растворителей, мы тем самым спрессовываем тысячелетия в минуты. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 03-03-32932).

Литература

1. *Левцкий М.М.* // Российский хим. журн. 2002. Т.XLVI. №3. С.51—63.
2. *Биличенко А. Н., Завин Б. Г., Шубина Е. С. и др.* // Известия Академии наук. Сер. химическая. 2004. №9. С.1912—1914.
3. *Биличенко А.Н., Левцкий М.М., Завин Б.Г. и др.* // Тезисы докл. Десятой всерос. конф. «Кремнийорганические соединения: синтез, свойства, применение». М., 26—30 мая 2005. Т.1. С.5.
4. *Левцкий М.М., Завин Б.Г., Биличенко А.Н.* // Высокомолек. соединения. Сер. А. 2004. Т.46. №10. С.1680—1685.
5. *Биличенко А.Н., Сергиенко Н.В., Корлюков А.А. и др.* // Известия Академии наук. Сер. химическая. 2006. №5. С.909—911.
6. Минералы: Справочник. Т. I—V. М., 1960—2004.

На глухарином току

В.И.Булавинцев,

кандидат биологических наук

Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН
Москва

Сфагновое болото, поросшее чахлыми соснами и тщедушными березками, тянулось из края в край верст на сорок, а то и более. Кто их, эти гиблые версты, в верховьях Западной Двины считал? Клюква, брусника и голубика по сырым местам, сосновый бор да ельник, где суше. Пьянящий дух багульника вперемежку с вековой прелью болотного кочкарника — сущий рай для гадюк и глухарей, глухомань. В таких местах глухарь из века не переводится. Городской охотник здесь редок. Пока с асфальта до мха доберешься, умаешься, да и глухарь, если не золотым, то серебряным точно обернется. Местный люд глухарем не балует, накладно, ружейный припас дорог и добыть птицу не каждому в пору, сноровка нужна, опыт. Ушлые в охоте старики числом все менее, а у молодых больше деньги на уме, тяготы глухариной охоты не по ним. Привольно в этих болотах глухарям, а если бы не огульная рубка леса, совсем было бы хорошо. Зимние невзгоды птице не помеха — глухарь не лось, не кабан, в снегу не тонет, крылья куда хочешь донесут, оно и летать далеко не надо. Сосновый бор с ельником по болотным гривам, там хвой и почек вдоволь, зимой глухарю этого довольно.

В оттепель сытая птица на деревьях ночует, а в мороз — в рыхлом снегу. Но здесь с опаской надобно. Рысь снапать может или горностаей ненароком придушит. Мал зверек телом, да юрок больно, словно ртуть, где хочешь достанет, а злобы на

троих будет. Больше у наших глухарей, не считая человека, куницы да филина, врагов серьезных зимой нет, велика птица. Крупный петух после трех лет, когда перестает расти и тяжелеет, килограммов на шесть потянуть может, если не больше. Привелось однажды увидеть такого под осень на Западной Двине. Дело к вечеру было, на вырубке у края старого ельника. Засиделся, замешкался петух в малиннике. Огромный, с напряженно вытянутой шеей, черный в коричневую, как донельзя закопченный чугунок. Вымахивал себя глухарина из густого малинника шумно и мерно, пологу, с напрягом набирая высоту. Несколько секунд чуда, и сказка закончилась.

Зима у нас хоть и долга, да не вечна, и весне место уступает. Хорош глухарь весной — красавец. Красив по-своему и глухариный ток. Начинается он еще с конца марта. А в начале апреля в заболоченных сосняках хорошо видны на снегу следы петухов, кое-где и черточки по бокам набродов заметны. Это глухарь чертил приспущенными крыльями. На ток прилетают птицы к вечеру, здесь же и ночуют. В этом я убедился сам, попав однажды на глухариный ток.

Уж так сложилось, что окончив факультет охотоведения и проработав не один десяток лет полевым зоологом, глухарей на току близко не видел. Потому ехал по весне на ток с надеждой наверстать упущенное. Пригласил меня на это «мероприятие» товарищ, как и я, помешанный на фотосъемке диких птиц. Отправились из Москвы позднова-

то, коллега задержался на работе. Пятница, на дорогах пробки, а ехать в Покровское охотхозяйство больше ста километров. Пока дела да случаи, добрались только к вечеру, вот-вот темнеть станет. До токовища с тяжелым рюкзаком полтора километра лесом и заболоченной просекой. Пришли на место к заходу солнца. Саша — охотовед, как оказалось, сын моей давнишней сослуживицы, — и мой спутник Слава, оставив меня на току, поспешили в луга, туда, где по ночам дупеля токуют.

Заболоченный сосняк примыкает к сырой вырубке. Быстро темнеет, но певчие птицы еще в голосе, заливаются. Пока поставил палатку, укрыл ее еловым лапником, совсем стемнело. Побросал вещи в палатку, сам в нее нырнул и только успел расстелить пластиковый коврик, вот незадача, водрузился с шумом великим на соседнюю сосну глухарь, почти у меня над головой. Покряхтел чуток, устраиваясь на ночлег, и затих. Я как сидел на корточках среди неразобранных вещей, так и замер. С глухарем так близко дело имел впервые. Как себя вести опыта нет, но ясно, что шуметь нельзя. Глухарь птица чуткая. Спугнешь, прилетит ли утром, кто знает? Сидеть на корточках уже не вмоготу, ноги затекли, спина мерзнет. Рубашка да легкая жилетка для седьмого мая в заболоченном лесу, на ночь глядя, не самая подходящая одежда. Теплая куртка рядом лежит, только руку протяни, да вещами завалена. Спальник под ногами, но еще в чехле. За что ни возьмешься, шорох такой, оглохнуть можно.

© Булавинцев В.И., 2007



На токовище. После турнира неплохо и подкормиться, склевать черничных почек, пощипать проростки трав.



Сторожкий петух. И в глухом лесу он не теряет бдительности.

Здесь и далее фото автора

Попробовал спальник из тесного чехла вытягивать по чуть-чуть, по сантиметру. Спальник синтетический шуршит невыносимо, или мне так от волнения кажется, не знаю. Одним словом, когда через полчаса спальник из чехла извлек, расстелил и на колени встал, ощутил облегчение несказанное. Но надо еще молнию на нем открыть, а она, как назло, металлическая — звенит. Минут пять на молнию ушло. Еще минут пять в спальник вползал и, наконец, блаженство. Лежу в тепле и птицу не спугнул. Толком, конечно, не спал, начало тока прозевать боялся.

В начале четвертого новая работа, одноногий штатив, монопод, поставить надо, а для этого пару кольев в землю вернуть надо и потом к ним штатив мягким ремнем привязать накрепко. Опять же подушку-седушку надуть пора. Пока возился, текнул глухарь над головой, еще два ему по сторонам ответили и тут же, без промедления какая-то пичуга, похоже, певчий дрозд, голосисто отметилась.

Глухарь, мой сосед по ночлегу, сначала токовал на дереве. Поначалу редко — «тек, тек, тек», — словно кто-то сухие палочки ломает. А вот и чаще зате-

кал, почти без перерыва, трелькой, следом умкнул утробно, как будто подавился, и заточил, как оселком по ножу, секунды на две-три. Говорят, что в эти три секунды глухарь ни на что не реагирует — не видит, не слышит, что вокруг творится. Вот в эти секунды я и поставил аппарат с телеобъективом на штатив.

Чуть позже петух шумно сверзился с дерева вниз, слетел на землю и продолжил свою песню. Вокруг чуть видно, глухарь метрах в тридцати маячит. До солнца еще часа два, а без солнца снимать — только пленку впустую тратить. Подождал, когда петух подалше отошел: он по своему участку ходит, охраняет территорию. Успел надеть куртку и сапоги, устроился на надувной подушке в ожидании рассвета.

Погоду обещали неважную, осадки. Накануне жара была несколько дней, а тут, как назло — небо серенькое, не понять толком, то ли утренняя хмарь, то ли просто сумрак. Светает, глухаря видно уже отчетливо, но это глазом, да и то без красок. Так, серый силуэт, хвост веером, голова на вытянутой шее вверх задрана. Ходит петух, поет свою глухарину песню.

Вот уж и солнце у горизонта розовым палом утреннюю марь подернуло. Все же облака за ночь натянуло, не плотные, но утреннему солнцу помеха немалая. Перед самым восходом затих петух, постоял в раздумье и пошел куда-то в сторону. Удалился, не слышать. Сижу, опечален до невозможности. Это ж надо, тащился с тяжелым рюкзаком, черт знает куда, в сырой лес, на ночь глядя, и все за тем, чтобы вот так с птицей, не солоно хлебавши, расстаться. Но все же решил подождать, глядишь, солнышко взойдет, вернется глухарь. Так и случилось. Полчаса спустя пришел молча, без голоса, заметил по свету палатку, постоял немного в нерешительности, но быстро успокоился. Кучу еловых лап на шестах мой товарищ еще с прошлых выходных оставил, поэтому птице маскировка палатки была привычна. Токовал петух рядом, порой слишком близко, так что снимать нельзя, одна голова с шеей в кадре. Отснял пленку, сработал затвор последним кадром и зажужжал аппарат, пленку перематывает. Глухаря долгое стрекотание камеры насторожило. Замер, смотрит прямо в объектив, он из палатки не-

много торчит, хоть и камуфлирован, но заметен. Минут пять стоял изваянием, соображал, что же это там жужжало. Не соперник ли? На всякий случай решил проверить. Приблизился метра на три и пошел вокруг скрадка. Ступает тихо, идет крадучись и, скособоча шею, все пытается внутрь палатки, за еловые ветки, заглянуть.

Не обнаружив соперника, петух успокоился и уже более на палатку внимания не обращал. Токовал он до полудня. Солнце из-за облаков несколько раз выглядывало. А потом и вовсе распогодилось. Повезло мне, снял глухаря на току. Видел, как бегают петух очертя голову на ратный зов соседа. Слышал глухие удары сшибающихся тел и оглушительные хлопки мощных крыльев — ими птицы лупят друг друга. К часу дня все затихло. Походил петух вокруг скрадка, поклевал почки черники, пощипал проростки лесных трав и удалился куда-то по своим делам. На том и кончилось мое свидание с глухарем на току.

Но все же стоит еще кое-что сказать о глухарях. Ближе к концу апреля или в начале мая все чаще спускаются петухи токовать на землю, где и совершаются брачные союзы с избравшими их курами, «дамами» тоже весьма солидными, килограмма в два весом. Уже в конце мая глухарки насиживают кладки. А петухи уходят в непролазные чащи-крепи, чтобы перелинять.

Глухариное гнездо — ямка около древесного ствола или под кустом, с пятью-шестью светло-бежевыми, в темном крапе яйцами. Глухарка (кополуха) наседка старательная, сидит на гнезде крепко. Порой к ней можно подойти совсем близко, пройдешь мимо — она не шелохнется. Замрет, слившись рябым пером с побуревшим про-



Глухарь за исполнением песни. Хвост веером, голова вверх задрана, ходит и поет самозабвенно.

шлогодним листом, и только бузинки темных полуприкрытых глаз напряженно следят за нарушителем покоя.

Впрочем, у птиц, как и у людей, разные характеры бывают. Случаются и среди глухарок нервные мамыши. Чуть что — подхватила и гнездо бросила, особенно если потревожили в начале насиживания. И все же в массе своей глухарки-мамы очень заботливые, малышей своих, очень чувствительных к сырости и холоду, опекают и греют в непогоду, как домашние куры. По-куриному учат глухарки цыплят искать корм, ну а уж затаиваться в случае опасности их учить не надо, природа позаботилась. Замрет цыпленок, будешь искать, так под ногами не заметишь — маскировка отменная.

Глухарята быстро растут и уже дней через восемь сносно перепархивают и взлетают на нижние ветки деревьев и кустарников. Пришла осень, глуха-

рята с домашнюю курицу размером стали. Скоро и выводки полностью распадутся. Молодые петушки покидают их раньше всех, уже в конце августа. К первому снегу начинается у молодых птиц пора самостоятельной жизни. Для большинства из них окажется она печально короткой. Больше половины молодых погибнет от болезней и разных хищников еще до зимы. Да и она своего не упустит, приберет из их числа немало.

Летом шансов больше, и чем старше птицы, тем более опыта и силы для дальнейшей жизни. Кому-то из них повезет, и доживут они до своего первого тока. Зачертит крыльями молодой петушок по осевшему апрельскому снегу. А позже выдаст на ранней зорьке первую, еще неумелую песню. Лиха беда начало, а там и долгая, по птичьим меркам, лет в десять, глухариная жизнь. Так и крутится из века в век колесо жизни, длится глухариный род на земле. ■



Вакцина против рака — первые успехи

Ф.Л.Киселев, С.А.Боринская

*Все хотят жить долго,
но никто не хочет быть старым*
Джонатан Свифт

Продолжительность жизни россиян конца XIX в. не превышала в среднем 30 — 40 лет и достигла 60-летнего рубежа лишь во второй половине XX в., в послевоенное время, когда настала эра антибиотиков и всеобщей вакцинации. Увеличение продолжительности жизни связано с изменением структуры смертности. Раньше жизни людей уносили преимущественно эпидемии и голод, сейчас на первые места вышли заболевания сердечно-сосудистой системы и рак. Возрастание в развитых странах частоты этих заболеваний, характерных для людей более старшего возраста, означает, что все большая часть населения не умирает в молодости от дифтерии, оспы, туберкулеза, других инфекций или так называемых внешних причин и доживает до того возраста, когда сердечно-сосудистые или онкологические заболевания успевают развиться [1]. Отодвинуть рубеж их проявления, найти эффективные методы профилактики и лечения можно, если понять причины этих болезней, особенности их течения и выявить звенья в цепи событий, ведущих к развитию заболевания, на которые нужно воздействовать.

На этом пути одним из наиболее впечатляющих успехов последнего десятилетия стало создание вакцины против рака шейки матки, занимающего по-



Федор Львович Киселев, член-корреспондент РАМН, профессор, доктор биологических наук, руководитель отдела трансформирующих генов опухолей НИИ канцерогенеза Онкологического научного центра им.Н.Н.Блохина РАМН. Последние 25 лет изучает молекулярные механизмы возникновения опухолей шейки матки. Автор более чем 150 экспериментальных работ, соавтор двух монографий и нескольких монографических обзоров.



Светлана Александровна Боринская, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории анализа генома Института общей генетики им.Н.И.Вавилова. Занимается изучением закономерностей биологической и социальной эволюции и геномикой человека.

сле рака молочной железы второе место по распространенности среди онкозаболеваний у женщин [2]. Вакцина, обладающая почти 100%-й эффективностью, может уберечь от болезни и спасти жизни сотен тысяч женщин.

В истории создания этой вакцины сплелись новейшие молекулярно-генетические технологии, эпидемиологические наблюдения более чем столетнего периода, взлеты и заблуждения научной мысли, человеческие судьбы и патентные бата-

лии. О научных исследованиях, выявивших клеточные и молекулярные механизмы развития болезни и указавших путь к избавлению от нее, и пойдет речь в этой статье.

От Гиппократа к ДНК

Раковые заболевания были известны в глубокой древности, их описание можно найти у отца медицины Гиппократа (460—370 гг. до н.э.). Ему же приписывают и сам термин «рак» — Гип-

пократ назвал карциномами некоторые виды опухолей из-за их крабовидной формы (cancer — краб). Причиной рака он считал скопление в отдельных частях тела «черной желчи», одного из четырех флюидов, нарушение равновесия которых, по представлениям того времени, вело к проявлению заболеваний. Теории флюидов придерживался и знаменитый Гален (129—201 гг.).

Гиппократ пытался лечить рак шейки матки препаратами чеснока, а вот Гален считал пациента неизлечимым, если ему был поставлен диагноз рак. Несмотря на успехи медицины, эта точка зрения оказалась очень живучей. Даже сегодня некоторые люди считают рак неизлечимым и откладывают посещение врача до того, пока действительно не станет слишком поздно. Но возможность вылечиться вполне реальна, особенно на ранних стадиях болезни.

Наблюдения, способствовавшие раскрытию природы раковой болезни, накапливались по мере развития медицины. В XVIII в. итальянский врач Барнардино Рамазини отметил отсутствие рака шейки матки и относительно высокую частоту рака молочной железы у монахинь, и заинтересовался, не связан ли первый с обетом безбрачия, а второй — с ношением тесной одежды. Лондонский хирург Персиваль Потт описал заболевания раком у трубочистов, возникающее из-за воздействия сажи на кожу, а его соотечественник Джон Хилл сообщил об опасности употребления табака [3]. Позднее вещества, вызывающие развитие рака, назвали канцерогенами. Когда выяснилось, что опухоли можно получать и у экспериментальных животных (мышей, собак), каменноугольную смолу использовали в первых экспериментах по индуцированному канцерогенезу.

В XIX в. Роберт Вирхов заложил научные основы современного патологического исследования раковых тканей. Это по-

могло выяснить характер разрушений и изменений раковых клеток, но не привело к пониманию их причин. Считалось, что рак вызывается травмами, хроническим раздражением или паразитами.

В XX в. через несколько лет после открытия рентгеновских лучей их стали применять для диагностики и лечения рака; тогда же обнаружили канцерогенный эффект облучения. Прорыв в понимании механизмов канцерогенеза обеспечило открытие ДНК и закономерностей ее изменений — мутаций. К этому времени уже было ясно, что существует множество причин, вызывающих рак (радиация, химические воздействия канцерогенных веществ, некоторые вирусы), и имеются семейные формы рака, предрасположенность к которым наследуется. Все эти причины приводили к нарушению работы генетического аппарата клетки.

Были найдены и изучены гены, которые контролируют деление клетки. Нормальные клетки человека в лабораторных условиях после 30—50 делений погибают, хотя некоторые клетки, например стволовые, таких ограничений не имеют. Однако в некоторых условиях они могут приобрести способность к неограниченному делению, давая так называемые иммортализованные («бессмертные») линии. Такая иммортализация и есть первый этап превращения клетки в злокачественную.

Второй этап называется малигнизацией (злокачественным перерождением). Раковые клетки перестают реагировать на контакты со своими соседями, в отличие от нормальных (которые прекращают расти и делиться, заполнив предназначенное для них место). Пусковой кнопкой, переключающей программу развития с ограниченного размножения на безудержное деление, служит нарушение работы генов, контролирующих клеточный цикл. В отдельных клетках этот сбой может быть

наследственным (при семейных формах рака) либо вызваться внешними причинами — теми самыми, которые были перечислены выше: облучением, воздействием канцерогенов и вирусными инфекциями. Наиболее распространены спонтанные раки, тогда как семейные формы составляют менее 15%, а раки вирусной природы — около 15—20% [2].

В разных видах опухолей «поломки» обнаруживаются в разных генах. В большинстве случаев остается неизвестным, какой именно ген «сбился с ритма» и каковы молекулярные механизмы нарушений, ведущих к развитию раковой опухоли. Но если ген, запустивший процесс бесконечного деления, внесен в клетку вирусом, то найти его гораздо легче. Ведь в отличие от десятков тысяч генов в клетке человека, в вирусном геноме их немного, и исследовать эти гены намного проще.

Изучение молекулярных механизмов вирусного канцерогенеза позволило не только понять возникновение отдельных раковых заболеваний, но и прояснило общую картину взаимодействия разных генов в переключении программ жизнедеятельности клетки.

Роль вирусов в онкогенезе

Первые гипотезы о вирусной природе рака высказывались еще в начале XX в. рядом ученых, в том числе и И.И. Мечниковым. Представления о раке как болезни генома и о вирусах как инициаторах развития опухоли сформулировал Л.А. Зильбер на основе экспериментов по перевиванию опухолей у животных. Эти опыты он проводил в 1940—1944 гг., находясь в тюрьме и выменивая у заключенных необходимых для опытов крыс и мышей на табак.

В настоящее время известно несколько вирусов, способных вызывать раковые заболевания

у человека. Все индуцированные вирусами злокачественные опухоли развиваются после длительного латентного периода, обычно от 5 до 30 и более лет. Это рак печени, вызываемый вирусами гепатита В и С, рак носоглотки и лимфома Беркитта (вирус Эпштейна—Барр), саркома Капоши (вирус герпеса, тип 8), раки шейки матки, вульвы, пениса и носоглотки (определенные типы вируса папилломы человека) и некоторые другие онкозаболевания. На долю вируса папилломы (HPV, Human papilloma virus) приходится около 10% всех случаев заболевания раком. Ведущую роль в папилломавирусных онкозаболеваниях занимает рак шейки матки. У женщин эта форма рака вторая по распространенности после рака молочной железы (рис.1); как правило, поражает молодых женщин (от 22 до 44 лет), и средняя «потеря жизни» при этом составляет 26 лет, в то время как для больных раком молочных желез и яичников — 19 и 17 лет соответственно [2].

Доказательства вирусной природы этого заболевания накапливались постепенно. В 1970-х годах появились предположения о связи вируса герпеса с раком шейки матки, однако позднее выяснилось, что это просто совпадение, обусловленное одинаковым путем передачи вирусов при сексуальных контактах. Затем под подозрения попали вирусы папиллом, но окончательно их роль в развитии рака шейки матки была доказана лишь с появлением новых методов диагностики, основанных на выявлении вирусной ДНК. При папилломавирусной инфекции вирусные частицы не всегда присутствуют в клетке, а вирусную ДНК (интегрированную в клеточный геном или в свободном виде) можно обнаружить с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР). Применение этого высокочувствительного метода позволило доказать, что почти при всех раках и предраковых поражениях шейки матки в измененных клетках присутствует вирусная

ДНК, а опухоль состоит из потомков одной перерожденной клетки, представляя собой так называемый клон.

У человека известно более 100 различных типов папилломавирусов [4]. Во многих случаях инфекция проходит бессимптомно. Большинство вирусов вызывают доброкачественные разрастания кожи (бородавки), но некоторые инициируют злокачественное перерождение клеток эпителия слизистой оболочки. В середине 80-х годов исследования группы немецких специалистов под руководством Харальда цур Хаузена убедительно показали, что при раках шейки матки выявляются два типа HPV (16 и 18), в то время как при доброкачественных поражениях (кондиломах) в основном присутствуют HPV другого типа (6 и 11) [5]. Позже доказательства роли вируса в развитии рака шейки матки были получены в многочисленных исследованиях, а список вирусов «высокого» риска был пополнен (тип 31, 45 и другие), но именно 16 и 18 типы оказались наиболее частой причиной рака. В России на их долю приходится около 90% всех исследованных случаев рака шейки матки. Так как вирус передается почти исключительно при половых контактах, данный вид рака можно рассматривать как инфекцию, передающуюся половым путем.

Отнюдь не во всех случаях инфицирования возникает заболевание. Согласно различным оценкам, до 75% сексуально активных взрослых хотя бы раз в жизни инфицируются генитальными папилломавирусами. Больше всего это относится к молодым людям в возрасте 20—24 лет (рис.2) [6]. Присутствие вируса необходимо, но недостаточно для инициации канцерогенеза. Лишь у небольшой части женщин (1—3%), зараженных папилломавирусами группы высокого риска, развиваются злокачественные изменения. В мире число случаев рака шей-

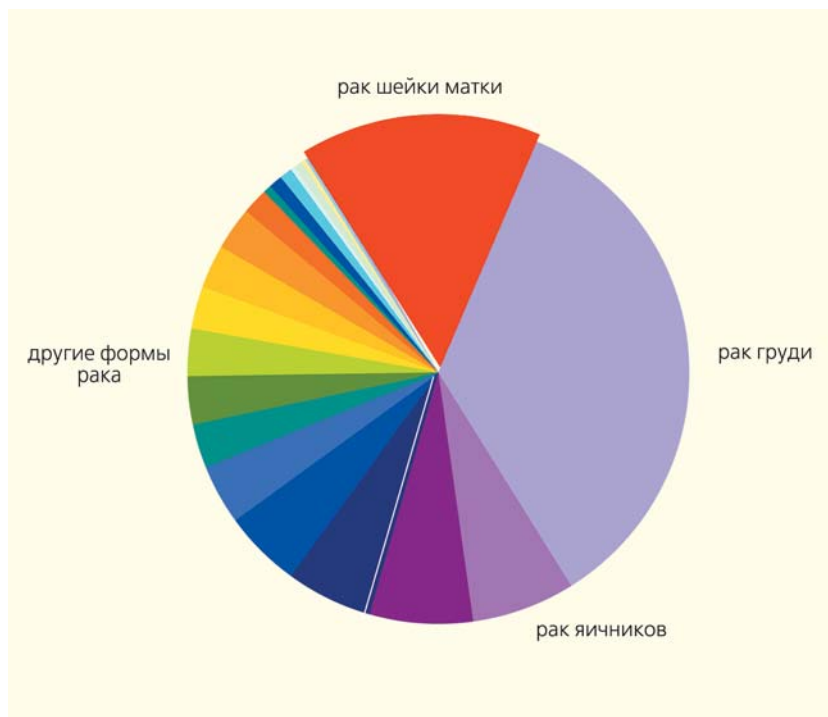


Рис.1. Заболеваемость различными формами рака среди европейских женщин (возраст 15—44 года) [2].

ки матки составляет около 450 тыс., и 200 тыс. женщин ежегодно умирают от этого заболевания. Другие формы аногенитального рака (пениса, вульвы, вагины, ануса), ассоциированные с папилломавирусами, встречаются на порядок реже [7].

В большинстве случаев HPV-инфекция длится 6–12 мес и проходит без явных клинических проявлений. В трети случаев вирусную ДНК можно выявить более чем через год и в 10% — более чем через два года. На продолжительность поддержания инфекции влияют возраст, тип HPV (вирусы высокого риска персистируют дольше) и нарушение функций иммунной системы. Не исключено, что в некоторых случаях при полном исчезновении вирусной ДНК с поверхности слизистой она может сохраняться в скрытом состоянии в более глубоких слоях эпителия и впоследствии приводит к реактивации инфекции.

При HPV-инфекции шейки матки вирусная ДНК обнаружена не только в злокачественных опухолях (карциномах), но и в предраковых поражениях слизистой. Это говорит о том, что вирус действительно инициирует опухолевый процесс, в развитии которого важная роль принадлежит изменениям в работе клеточных генов.

В ранних поражениях шейки матки — так называемых интраэпителиальных дисплазиях стадии I (рис.3) — могут быть выявлены HPV как низкого, так и высокого риска [8]. Определение типа вируса имеет принципиальное значение для тактики последующего наблюдения за этими больными — при наличии вирусов низкого риска срок повторного обследования можно продлевать до полугода.

Факторами риска развития опухоли при папилломавирусной инфекции служат продолжительность персистенции вируса, снижение клеточного иммунитета, гормональные воз-

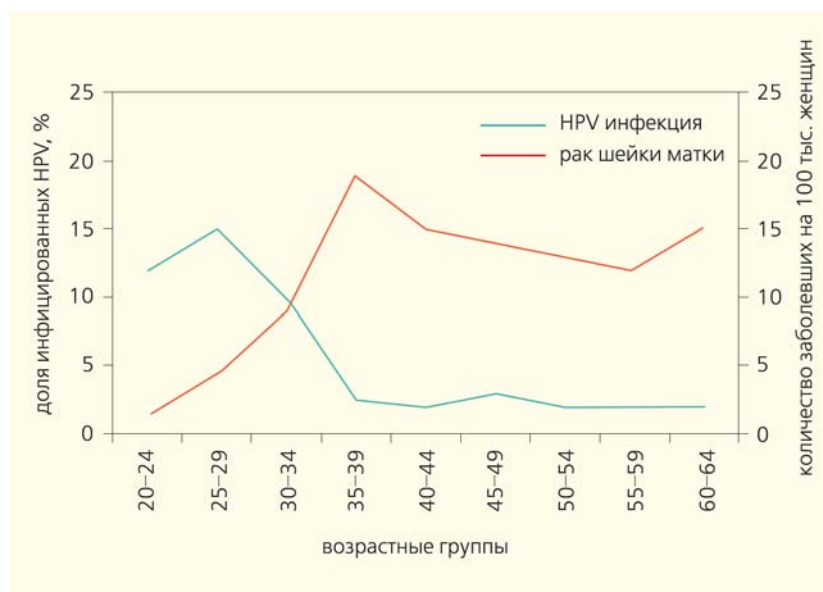


Рис.2. Уровень инфицированности папилломавирусом и заболеваемость раком шейки матки у женщин разного возраста среди обследованных 3752 женщин [6].

действия (аборт, беременность, прием гормональных контрацептивов и др.), курение, неправильное питание (дефицит фолиевой кислоты), частая смена партнеров, сопутствующие урогенитальные инфекции (например, хламидийная или герпетическая), а также индивидуальные генетические особенности.

Взаимодействие вируса и клетки

Вирус папилломы — довольно мелкий, его двунитевая кольцевая ДНК заключена в белковую оболочку — капсид (рис.4). В геноме вируса (размером 8000 пар нуклеотидов) шесть генов, обеспечивающих на ран-

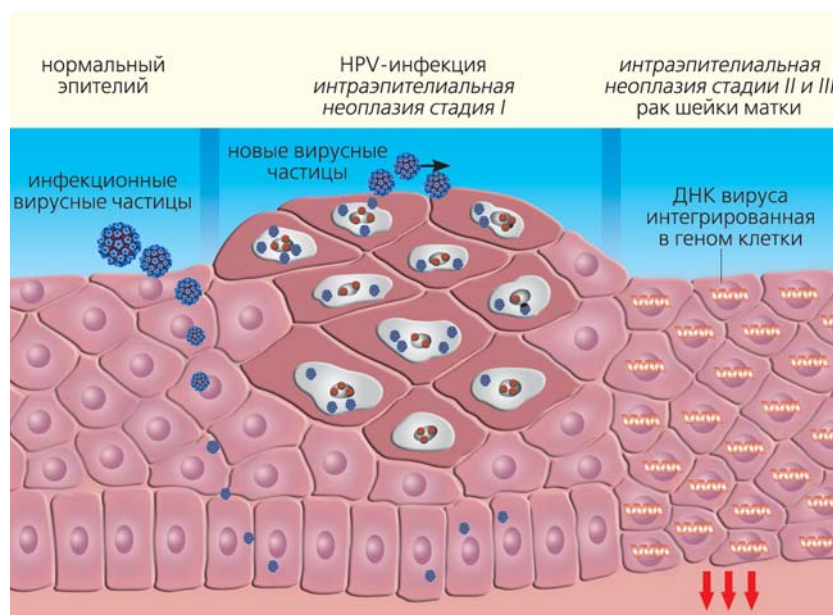


Рис.3. Стадии развития папилломавирусной инфекции [8].

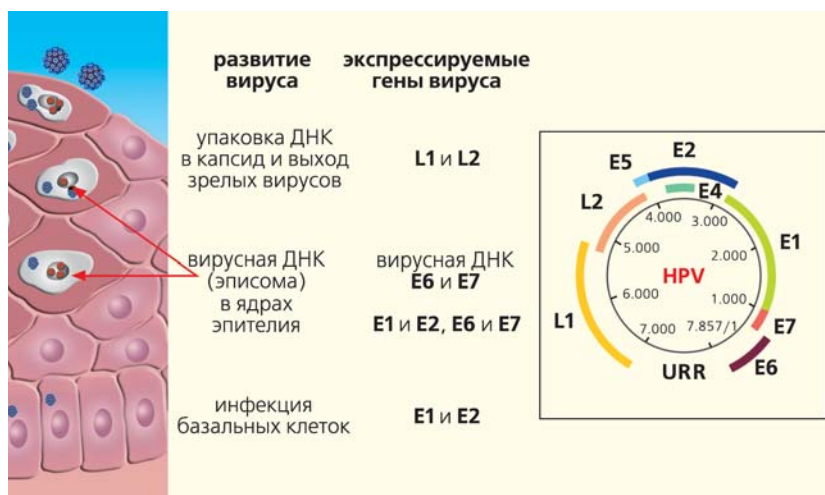


Рис.4. Этапы развития папилломавирусной инфекции (слева) и структура генома HPV.

них этапах его жизненного цикла взаимодействия с клеткой-хозяином и репликацию вирусной ДНК, и еще два гена, кодирующих белки капсида. Проникая в клетку, вирус использует клеточные системы для получения собственных белков. В первую очередь синтезируются белки, необходимые для поддержания и репликации вирусной ДНК. Эти гены обозначаются буквой E (от англ. early — ранний). После наработки ДНК включаются «поздние» (late) гены L1 и L2, которые запускают синтез белков вирусного капсида [9]. Ранние гены работают в базальных клетках эпителия. В дифференцированных кератиноцитах активны поздние гены и происходит сборка инфекционных вирусных частиц (рис.4). Но зачастую последний этап отсутствует, и вирус остается в клетке в виде свободной или встроенной в клеточный геном ДНК [5].

Особую роль в иммортализации и трансформации клетки играют вирусные гены E6 и E7. Кодируемые ими белки вмешиваются в работу клеточного генома, нарушая регуляцию клеточного цикла. Наиболее важна инактивация клеточных генов p53 и pRb, в норме препятствующих раковому перерождению клетки и называемых поэтому

онкосупрессорами (подавляющий опухоль). Работа генов-онкосупрессоров обеспечивает нормальное чередование фаз роста и деления клетки. Нарушение их функций отмечается во многих опухолях различного типа, не только вызванных вирусом. Воздействует вирус и на работу других генов клетки, контролирующих ее нормальное деление. Один из механизмов воздействия — избирательная модификация (метиляция) тех участков клеточной ДНК, которые регулируют работу генов. У неонкогенных типов папилломавирусов гены E6 и E7 также способны инактивировать онкосупрессоры p52 и pRb, но менее эффективно. Еще один вирусный ген, участвующий в трансформации клетки, — ген E5 — у части вирусов группы низкого риска неактивен или вообще отсутствует.

При изучении вирусного канцерогенеза выяснилась роль ряда клеточных генов, поддерживающих нормальные функции клетки. Это позволило установить последовательность событий, приводящих к их нарушению и переходу от запрограммированной смерти клетки (апоптоза) к неограниченному росту и делению. Показано, что индивидуальные генетические характеристики влияют на спо-

собность организма сопротивляться инфекции и защищать геном клетки от вирусной атаки.

Индивидуальной особенностью, влияющей на итог столкновения с вирусом, могут служить изменения гена p53. Некоторые его варианты кодируют белок, более устойчивый к инактивации при папилломавирусной инфекции. Эта устойчивость зависит от того, какая аминокислота находится в позиции 72 данного белка (пролин — устойчивый вариант, аргинин — восприимчивый). Предположили, что различия по частоте встречаемости устойчивого варианта p53 в разных этнических группах могут объяснить разный уровень заболеваемости раком шейки матки в них, но эти предположения нельзя считать доказанными [10, 11]. Исследуется влияние на развитие папилломавирусной инфекции и вариаций по другим генам человека.

Лечение и профилактика рака

С помощью современных молекулярно-генетических методов удалось не только понять фундаментальные закономерности жизнедеятельности нормальной и раковой клеток, но и найти новые способы диагностики и лечения. Например, изменения клеток эпителия шейки матки можно обнаружить при гинекологическом осмотре и цитологическом анализе мазков. Однако эти методы не позволяют предсказать направление дальнейших изменений и возможности злокачественного перерождения. Выявление вирусной ДНК и определение того, к какой группе (высокого или низкого риска) этот вирус относится, дают возможность достаточно точного прогноза. При этом диагноз может быть поставлен на ранних этапах развития опухоли. А от правильного диагноза и раннего начала лечения зависит успех в борьбе

с этим недугом. Конечно, дополнительный анализ для определения типа вируса делает обследование несколько дороже, но даже дорогие средства ранней диагностики намного дешевле, чем дорогие и менее эффективные средства лечения запущенных стадий болезни.

Основная доля заболеваемости раком шейки матки приходится на бедные страны. В развитых странах систематические гинекологические осмотры и цитологические анализы мазков привели к тому, что поздние стадии рака шейки матки там практически отсутствуют. К сожалению, России до этого еще далеко и из-за отсутствия постоянного контроля здоровья женщин, и из-за недоступности многих методов. Поэтому до 40% случаев рака шейки матки, выявляемых у российских женщин, — это запущенные поздние стадии, с трудом поддающиеся лечению.

Тем не менее создание вакцины актуально для всех. Ее разработка стала возможна тогда, когда была окончательно доказана роль вирусной инфекции в развитии рака шейки матки

и определены молекулярно-генетические механизмы этого процесса. В основу вакцины положен синтез белков вирусного капсида, способных к самосборке и образованию вирусоподобных частиц (рис.5). Эти частицы идентичны по своим иммунологическим свойствам нативному вирусу, но не содержат ДНК, поэтому и не вызывают заболевания. При вакцинации вырабатываются антитела, способные нейтрализовать вирус и препятствовать распространению инфекции. Оказалось, что содержание этих антител сохранялось на достаточно высоком уровне в течение пяти лет наблюдений.

Среди более чем тысячи вакцинированных молодых женщин (без признаков папилломавирусной инфекции) через полтора года ни одна ее не имела, тогда как в аналогичной группе без вакцинации у 40 женщин инфекция была выявлена. Испытания на животных моделях и на тысячах добровольцев показали почти 100%-ю эффективность вакцины: у вакцинированных женщин не возникает папилломавирусная инфекция

и не развивается рак шейки матки. Побочные эффекты за более чем пять лет испытаний не выявлены.

Летом 2006 г. после многочисленных клинических испытаний коммерческий препарат гардасил, производимый фирмой «Merck», выпущен на мировой рынок. Аналогичный препарат церварикс, разработанный «GlaxoSmithKline», появится в конце 2006 г. В некоторых странах (США и странах Евросоюза) уже принято решение об обязательной вакцинации девочек, при этом рекомендуется проводить ее в возрасте от 9 до 12 лет. Эта вакцина может быть также высокоэффективной для молодых женщин, не инфицированных HPV. Эффективность вакцинации может быть существенно ниже для инфицированных женщин и еще ниже для женщин с интраэпителиальными дисплазиями. Использовать вакцину для женщин с уже возникшим раком шейки матки вряд ли имеет смысл.

Таким образом, создание вакцины против рака шейки матки — это реальный факт, который, несомненно, относится

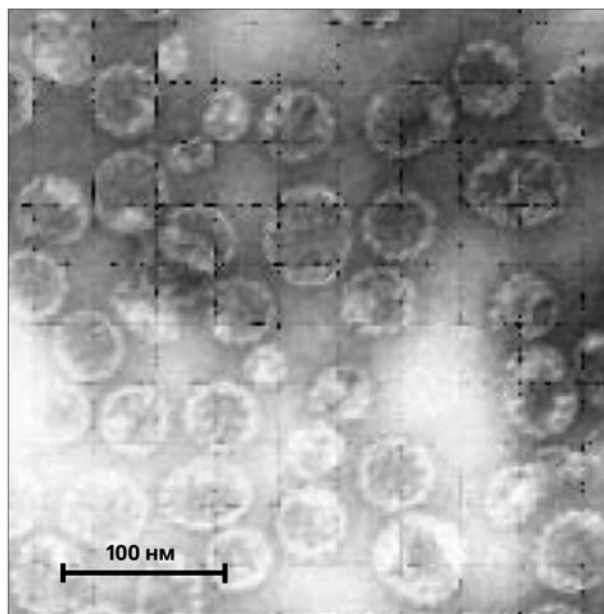
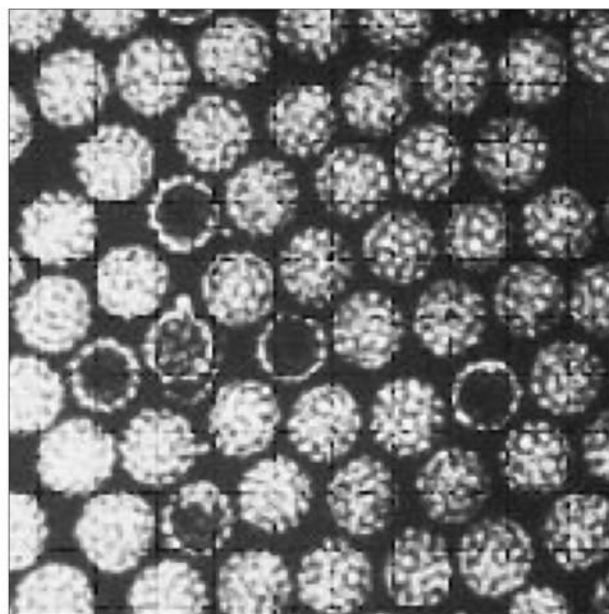


Рис.5. Электронные микрофотографии частиц папилломавируса, используемые для вакцинации. Видны полные (с ДНК) и пустые капсиды. Справа — вирусоподобные частицы HPV, состоящие из белка L1.

к числу наиболее значимых за последнее десятилетие достижений в общественном здравоохранении. Хотелось бы подчеркнуть, что создание такой вакцины было бы невозможно без огромного вклада фундаментальной науки — без понимания вирусной природы заболевания, без знания точной структуры ДНК и белков вируса, молекулярных механизмов индуцируемого им опухолевого процесса.

Пока это только первый пример успешной противоопухолевой вакцинации. Конечно же, за последние годы достигнуты огромные успехи в химиотерапии опухолей и лейкозов, и можно с уверенностью предполагать, что количество новых эффективных препаратов против опухолей будет возрастать. Но это лечение, а предотвращение заболевания всегда более эффективно, чем его лечение. В России регистриру-

ется более 12 тыс. случаев рака шейки матки в год, и 7700 женщин ежегодно (т.е. 21 женщина ежедневно) умирают от этой болезни. В случае введения вакцины можно ожидать, что рак шейки матки исчезнет из эпидемиологических сводок. Мы обязаны думать о будущих поколениях, и вакцинация против опухолей шейки матки должна быть очень важным компонентом национальных программ по здравоохранению. ■

Литература

1. Прохоров Б.Б. // Человек. 2002. №2. С.54—65.
2. Ferlay J., Bray F., Pisani P., Parkin D.M. GLOBOCAN 2002: cancer incidence, Mortality and prevalence worldwide. IARC cancer base no. 5, version 2.0. Lyon, 2004.
3. Diamandopoulos G.T. // Anticancer. Res. 1996. V.16. P.1595—1602.
4. DiMaio B., Liao J.B. // Advances in Virus Research. 2006. V.66. P.125—159.
5. Куселев Ф.Л. // Биохимия. 2000. Т.65. С.79—91.
6. Bosch F.X., Lorincz A., Munoz N., Meijer C.J., Shah K.V. // J. Clin. Pathol. 2002. V.55. №4. P.244—265.
7. Trottier H., Franco L. // Vaccine. 2006. V.24S1. P.4—15.
8. Goodman A., Wilbur D.C. // N. Engl. J. Med. 2003. V.349. №16. P.1555—1564.
9. Zheng Z.M., Baker C.C. // Front Biosci. 2006. V.11. P.2286—2302.
10. Storey A., Thomas M., Kalita A. et al. // Nature. 1998. V.393. P.229—234.
11. Arbel-Alon S., Menczer J., Feldman N., Glezerman M., Yeremin L., Friedman E. // Int. J. Gynecol. Cancer. 2002. V.12. P.741—744.

Бионика

Робот-геккон

Специалистам по бионике потребовались годы, чтобы выяснить, каким образом геккон может ползать по гладким вертикальным поверхностям¹. Исследователи из Станфордского университета (штат Калифорния, США) получили адгезивный материал, который, подобно щетинкам на пальцах этой ящерицы, может фиксировать на стене предметы значительной массы. Свою разработку они довели до такой стадии, что создали аппарат, способный подняться по стеклянной стене. У робота (он получил на-

¹ См. также: В подражание геккону // Природа. 2006. №11. С.77—78.

звание «Стикибот»), сделанного «по образу и подобию» геккона, пальцы покрыты синтетическими ворсинками длиной в 2 мм, которые прилипают к мельчайшим шероховатостям.

Интерес к новинке проявил Пентагон: такую технологию можно использовать при создании специальных видов обуви и рукавиц.

Sciences et Avenir. 2006. №713. P.25 (Франция).

Климатология

Полярные льды на Земле формировались синхронно

Международная группа ученых, работавшая по проекту ACEX (Arctic Coring Expedition — Арктическая экспедиция

бурения), подняла из толщи дна океана керн осадочных пород длиной 430 м, содержащий информацию об эволюции климата за 56 млн лет. Эта уникальная «летопись» раскрывает переход от теплой Земли, лишенной ледового покрова, где климат контролировали парниковые газы, к холодной Земле, где климат частично регулировали мощные океанские течения, вызванные температурными контрастами между полюсами и тропиками. До формирования ледового покрова температура арктических вод приближалась к 18°C и даже достигала максимума в 24°C! Такие температуры были в огромной степени обусловлены содержанием CO₂ в атмосфере, в пять раз превышавшим современное. Именно понижение concentra-

ции CO₂, произошедшее 45 млн лет назад, и повлекло за собой синхронное обледенение Северного и Южного полюсов, а вовсе не тектонические процессы, как полагали ранее.

Science et Vie. 2006. №1066. P.30 (Франция).

Экология

«Бизнес в прохладе»

Правительство Японии второй год подряд проводит кампанию «Бизнес в прохладе», суть которой состоит в том, что пришедшим на работу служащим настоятельно предлагается освободиться от пиджака и галстука, особенно в жаркие дни. Таким способом достигается экономия в потреблении кондиционированного воздуха, а тем самым реализуется конкретная мера в борьбе с потеплением климата. В 2005 г. кампания «Бизнес в прохладе» уже позволила сократить выбросы CO₂ на 46 тыс. т, что эквивалентно объему эмиссий от миллиона домашних очагов японцев в течение года.

Sciences et Avenir. 2006. №713. P.30 (Франция).

Археология

«Могила рыкающих львов»

К северу от Рима, неподалеку от античного города Вейи, летом 2006 г. открыто самое древнее (2700 лет назад) захоронение этрусков. Его отличает пышное убранство, а также примечательные фрески.

По мнению А.Моретти (A. Moretti), руководителя раскопок в районе Латиум, характер изображения птиц на фресках призван отразить течение жизни человека от рождения до самой смерти, а грозные, с огромной открытой пастью львы, окрашенные в черный цвет, должны символизировать

угрозы от потустороннего мира. Археологи назвали это погребение «могилой рыкающих львов».

Sciences et Avenir. 2006. №714. P.25 (Франция).

Гляциология

Темп таяния ледниковых покровов

По единодушному заключению многих гляциологов, толщина полярных ледниковых покровов сокращается неослабевающими темпами: по спутниковым измерениям 1996—2005 гг., Гренландия теряла льды в три раза быстрее, чем следовало из моделей климатологов. За пять лет объем льдов, сходящих в Атлантику ежегодно, возрос почти в два раза, что равносильно дополнительному подъему уровня Мирового океана на 0.5 мм/год.

Наряду с этим Антарктида, являющаяся хранилищем 70% запасов пресной воды, в период между 2002 и 2005 г. ежегодно теряла в среднем 152 км³ льда.

Согласно оценке американских гляциологов, уровень океана может подняться на 4—6 м от современных отметок к 2100 г. Однако, основываясь на сопоставлении межледниковых климатов (130 тыс. лет назад и современного), такой сценарий следует считать маловероятным.

Science et Vie. 2006. №1064. P.38 (Франция).

Метеорология

Сверхточное зондирование атмосферы

С запуском в середине июля 2006 г. европейского спутника «MetOp-A» Франция делает серьезный шаг в развитии мировой метеорологии. На борту спутника размещено 11 приборов, в числе которых интер-

ферометр зондирования атмосферы в инфракрасных лучах. Этот сверхчувствительный прибор, созданный во Французском национальном центре космических исследований, разделяет инфракрасное излучение на 8461 канал, а не на 20, как это делают сейчас самые лучшие приборы. Измерения исключительно высокой точности будут передаваться в мировые вычислительные центры для разработки моделей погоды. Полагают, что краткие и среднесрочные прогнозы погоды будут оправдываться почти на 100%.

С полярной орбиты высотой в 800 км прибор будет осуществлять мониторинг атмосферы Земли с периодичностью 12 ч, предоставляя профили температуры и влажности с точностью до 1°C и до 10% с пространственным разрешением по высоте в 1 км.

Sciences et Avenir. 2006. №714. P.21 (Франция).

Экология

Медузы вытесняют рыб

В прибрежных водах Намибии сейчас стало в три раза больше медуз, чем рыб. Это вызвало большую озабоченность биологов. Они детально обследовали 55 тыс. км² акватории у берегов Южной Африки, а также в районе банок, собрали пробы вод и планктона. Биомассу медуз биологи оценивают в 12.2 млн т, а биомассу рыб — в 3.6 млн т. Ранее активно населявшие эти воды пелагические рыбы — сардины, мерлузы, ставриды — теперь покинули их. В основном сегодня представлены бычковые рыбы (Gobiidae). Биологи считают, что такая ситуация вызвана переловом промысловых рыб или, возможно, потеплением вод.

Sciences et Avenir. 2006. №716. P.38 (Франция).

Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Алтая

С.В.Бабошкина, И.В.Горбачев, А.В.Пузанов

Добыча и последующая переработка полезных ископаемых — один из наиболее мощных видов техногенеза. Природные ландшафты постепенно замещаются особыми техногенными системами, включающими шахты, отвалы пород, отходы первичного обогащения руд. Площадь таких территорий, имеющих вид «лунного ландшафта», составляет по Российской Федерации несколько тысяч квадратных километров. К отходам обогатительного передела различных горнорудных предприятий в последнее время во всем мире отмечается повышенный интерес — как к «вторичным месторождениям» и как к источникам загрязнения окружающей среды токсичными элементами.

Алтай — один из богатейших регионов России по запасам полезных ископаемых. В переходной зоне горных сооружений Северо-Западного Алтая сосредоточены основные запасы полиметаллических руд. В основном это медно-свинцово-цинковые пластовые и линзообразные залежи. Зброшенные горные выработки XVIII—XX вв. — так называемые «хвосты» Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОК) и Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики (ЗЗИФ) — экологически наиболее опасны для окружающей среды.

© Бабошкина С.В., Горбачев И.В., Пузанов А.В., 2007



Светлана Вадимовна Бабошкина, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул). Занимается изучением поведения микроэлементов в системе почва—вода—растения природных и антропогенных ландшафтов Алтая. Лауреат IX Международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов-2002».

Александр Васильевич Пузанов, доктор биологических наук, заместитель директора того же института, заведующий лабораторией биогеохимии. Специалист в области геохимии ландшафтов, биогеохимии тяжелых металлов, микроэлементов, радионуклидов и ракетных топлив. Руководитель сопровождения пусков ракет-носителей «Союз» и «Протон».

Иван Владимирович Горбачев, младший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — влияние ракетно-космической деятельности и горнодобывающей промышленности на окружающую среду и здоровье населения, изучение процессов формирования и способов рекультивации техногенных ландшафтов.

За время работы комбината с северо-западной стороны от г. Горняка из переработанной руды образовалось два больших хвостохранилища общей площадью 1 км² и объемом 11 млн м³ [1]. Одна из главных экологических проблем прилегающих территорий — распространение пыли с поверхности высыхающих хвостохранилищ. Существует также угроза подтопления жилых массивов токсично загрязненными шахтными водами.

При изучении процессов пылеобразования на поверхностях хвостохранилищ, находящихся на территории России преимущественно в сухом состоянии, оказалось, что с поверхности отвала площадью 1000 га порыв ветра может снести около 60 тыс. м³ песков [2].

Дренажные воды хвостохранилищ, просачиваясь сквозь дамбы и ложе сооружений, отравляют окружающие территории и близлежащие водотоки и могут вдвое увеличивать суммарную минерализацию рек относительно фоновых показателей [3].

Попав в атмосферу, почву или в водоемы, тяжелые металлы включаются в природный круговорот веществ и удаляются очень медленно при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. Период полуудаления составляет для цинка — от 70 до 510 лет, для кадмия — от 13 до 110, для меди — от 310 до 1500 и для свинца — от 740 до 5900 лет [4].

Хвостохранилище золотоизвлекательной фабрики расположено на правобережной надпойменной террасе р. Корболиха, в пределах водоохранной зоны. В весеннее половодье поток воды подмывает «тело» отстойника. Происходит вынос токсичного материала в пойму и далее — в Гилевское водохранилище на р.Алей.

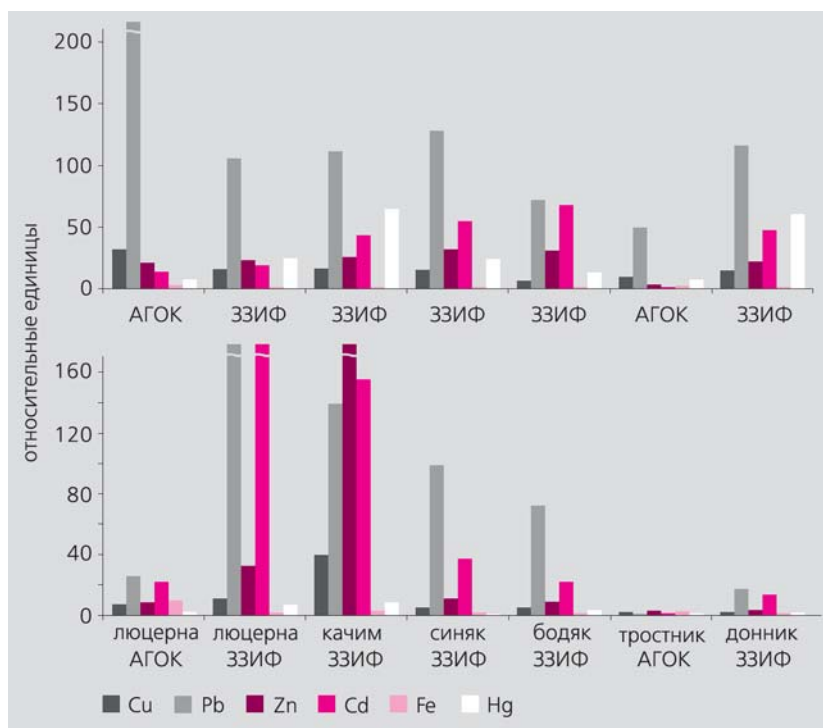
Цель нашего исследования — изучить влияние хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината и Змеиногорской золотоизвлекательной



Руины Алтайского горно-обогатительного комбината и поверхность отвалов. Здесь и далее фото авторов

фабрики на окружающую среду. На данном этапе мы попытались сравнить интенсивности поглощения элементов растениями в условиях природных и техногенных ландшафтов. Объектами изучения служили почвы и рас-

тения фоновых участков, а также растения и техноземы бортов и подножий хвостохранилищ, зарастающие под влиянием естественных факторов или в результате поэтапной рекультивации.



Увеличение содержания металлов в субстратах и растениях техногенных ландшафтов по отношению к фоновым концентрациям, принятым за единицу.

Таблица 1

Содержание элементов (мг/кг) в природных почвах и техногенных отложениях хвостохранилищ

Элемент	ОДК [5] *Кларк [9]	Фон	Борта и подножие хвостохранилищ АГОКа			Поверхности ЗЗИФ, покрытые растительностью		
			lim	$\bar{X} \pm x$	V, %	lim	$\bar{X} \pm x$	V, %
Cu	132	26±1.7	293–1630	793±306	77	354–562	398±44	25
Pb	130	18±0.8	167–8120	2474±1889	153	1775–3230	2189±268	27
Zn	220	75±3.5	241–3580	1481±777.8	105	1880–2460	2055±98	11
Cd	2	0.20±0.02	0.23–16.0	5.7±3.6	128	7.5–11.0	8.9±0.7	18
Fe	50000*	30030±1145	43300–111700	70875±14713	42	7200–26200	10871±3055	63
Hg	0.033*	0.055±0.005	0.280–0.60	0.43±0.07	32	1.20–2.70	1.73±0.28	36

lim – пределы колебаний; \bar{X} – среднее значение, x – ошибка средней, $x = \sigma/\sqrt{n}$; V – коэффициент вариации.

Таблица 2

Средние содержания тяжелых металлов (мг/кг) в растениях с бортов и подножий хвостохранилищ и в незагрязненных участках Северо-Западного Алтая

Субстрат	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Hg
Борта хвостохранилищ АГОКа	63±55	78±71	339±239	1.1±0.8	3869±348	0.06±0.05
Периметр хвостохранилища ЗЗИФ	62±20	347±138	736±498	7.1±4.5	477±171	0.23±0.09
Фоновые участки	8±1.4	2.9±0.6	33±6	0.13±0.05	798±556	0.074±0.026
Естественные уровни содержания в травянистых растениях суши [6]	1–20	0.1–10	12–47	0.07–0.27	18–1000	0.039–0.1

Микроэлементы в образцах верхних горизонтов техноземов и почв определяли плазменно-спектрометрическим количественным методом, в растениях — методом атомной адсорбции.

Содержание некоторых из проанализированных 30 химических элементов (табл.1) значительно превышает фоновые концентрации в почвах природных ландшафтов Северо-Западного Алтая и ОДК (ориентировочно-допустимые концентрации) [5]. Оказалось, что образцы технозема периметра хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики характеризуются более равномерным распределением Cu, Pb, Zn, Cd. Поскольку добыча золота на фабрике осуществлялась методом амальгамирования, средняя концентрация Hg в техноземах здесь почти в 3 раза выше, чем максимальное содержание в образцах с бортов хвостохранилища горно-обогатительного комбината.

Аномально высокие содержания тяжелых металлов в сре-

де неизбежно приводят к увеличению их концентрации в биоте. Содержания анализируемых элементов в растениях, формирующих примитивные фитоценозы на бортах и подножиях хвостохранилищ горно-обогатительного комбината и золотоизвлекательной фабрики, в 8–100 превышали фоновые концентрации в растениях чистых экосистем (табл.2, 3). Загрязнение растений, произрастающих на иссушенных поверхностях хвостохранилищ, происходит как за счет поступления избыточных в субстрате ионов тяжелых металлов в корневую систему, так и вследствие оседания пыли на поверхности растений.

Для сравнения интенсивностей поступления микроэлементов в растения фоновых и загрязненных территорий мы использовали индекс аккумуляции I_a , который рассчитывался как отношение содержания элемента в сухой массе растений к его концентрации в почве или субстрате [6].

Полученные индексы аккумуляции для Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Hg (табл.4) в среднем несколько ниже, но пропорциональны значениям I_a , приведенным А. Кабатой-Пендиас, и разделяются по интенсивности поглощения металлов на группы, согласно исследованиям других авторов [7, 8].

Например, Zn и Hg отнесены А.И.Перельманом к группе элементов среднего и интенсивного накопления [8]. По результатам нашего исследования они также занимают второе место по интенсивности биологического поглощения. Слабо аккумулируется растениями, по мнению всех авторов, железо. По нашим результатам, оно также имеет самый низкий I_a . По интенсивности аккумуляции растениями Cd у исследователей нет единого мнения.

На субстратах техногенного происхождения растения, как правило, снижают интенсивность поглощения Hg, а также Cu, Pb, Zn, но увеличивают поглощение дефицитного в арид-

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в системах субстрат–растение хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината и Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики и почва–растение фоновых участков

Система		Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Cr	Hg
тростник южный (<i>Pbragmites australis</i>)								
АГОК	Растение	11	2.8	65	0.05	216	0.5	0.029
	Субстрат	293	988	241	0.23	57800	22	0.37
Фон	Растение	7.8	4.0	28	0.08	96	0.5	0.032
	Почва	31	20	78	0.18	33000	76	0.051
люцерна серповидная (<i>Medicago falcate</i>)								
АГОК	Растение	50	66	186	0.64	3310	1.4	0.042
	Субстрат	858	8120	1740	5.6	70700	24	0.45
ЗИФ	Растение	83	600	730	14	507	1.4	0.26
	Субстрат	412	2420	1880	7.5	7200	14	1.5
Фон	Растение	7.8	2.6	23	0.03	365	1.1	0.042
	Почва	27	23	82	0.40	28700	69	0.062
качим Патрэна (<i>Gypsophila patrinii</i>)								
ЗИФ	Растение	90	305	2135	17	662	1.2	0.27
	Субстрат	354	1775	1920	8.7	9900	17	2.5
Фон	Растение	2.3	2.2	10	0.11	257	0.9	0.034
	Почва	22	16	74	0.20	28700	63	0.039
синяк обыкновенный (<i>Echium vulgare</i>)								
ЗИФ	Растение	53	266	303	2.2	653	1.7	0.12
	Субстрат	403	2040	1990	7.6	7200	14	1.2
Фон	Растение	12	2.7	28	0.06	655	1.7	0.20
	Почва	27	16	62	0.14	27100	52	0.051
бодяк щетинистый (<i>Cirsium setosum</i>)								
ЗИФ	Растение	63	315	449	4.1	839	1.8	0.36
	Субстрат	231	1290	2260	11.5	26200	54	1.2
Фон	Растение	14	4.4	51	0.19	1610	3.8	0.13
	Почва	36	18	74	0.17	33300	75	0.096
донник ароматный (<i>Melilotus suaveolens</i>)								
ЗИФ	Растение	9.2	27	52	0.52	95	0.7	0.034
	Субстрат	435	2310	1920	8.5	9200	16	2.7
Фон	Растение	5.7	1.6	17	0.04	136	0.6	0.034
	Почва	29	20	88	0.18	36300	79	0.045

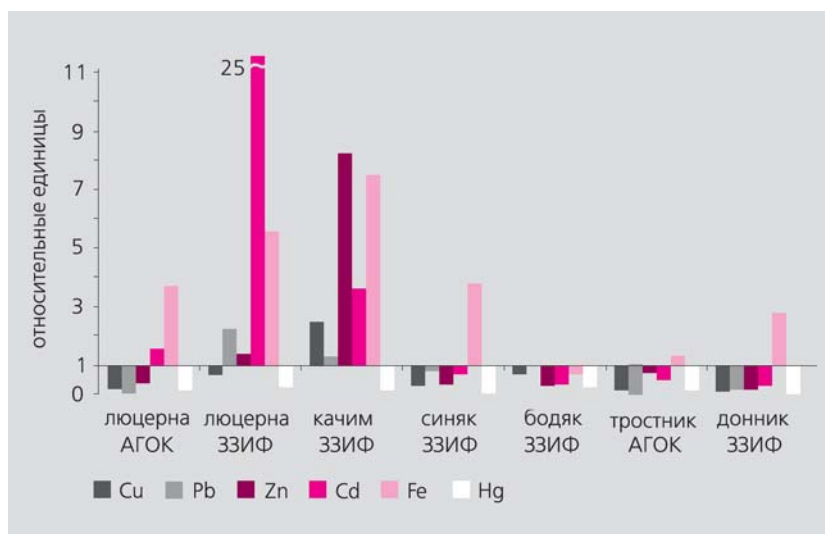
Таблица 4

Индексы аккумуляции тяжелых металлов растениями почв и техногенных субстратов

Элементы	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Hg
Хвостохранилища Алтайского горно-обогатительного комбината и Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики	0.15±0.04 0.42–0.02	0.16±0.03 0.003–0.32	0.45±0.82 0.03–1.95	0.75±0.13 0.06–2.07	0.06±0.02 0.004–0.22	0.17±0.05 0.01–0.57
Фоновые участки Северо-Западного Алтая	0.28±0.02 0.10–0.44	0.30±0.82 0.02–1.39	0.44±0.04 0.14–0.69	0.68±0.11 0.076–1.8	0.03±0.01 0.003–0.10	1.30±0.25 0.35–3.92
Кабата-Пендиас А., 1989	0.8	0.6	0.9	10	0.008	0.7
*Добровольский В.В., 1998	0.12–0.23	0.07–0.15	0.6–1.2	0.02–0.04	0.006	0.78–1.6
*Перельман А.И., 1975	0.0n–0.n	0.0n–0.n	0.n–n	0.00n–0.0n	0.00n–0.0n	0.0n–0.n

В числителе — среднее значение, в знаменателе — пределы колебаний.

* Индексы аккумуляции рассчитаны по приведенным авторами коэффициентам биологического поглощения (отношение среднего количества элемента в золе растений к его среднему содержанию в почве), исходя из того, что зольность степных растений варьирует в пределах 5–10%.



Отношение индексов аккумуляции металлов (I_a) растений техногенных и природных ландшафтов.

ных районах железа, причем уровень его содержания в растениях техноземов золотоизвлекательной фабрики не выходит за пределы наблюдаемых фоновых концентраций — 1000 мг/кг [6]. Усиленное потребление железа растениями техногенных ландшафтов является, возможно, защитным механизмом — известно антагонистическое взаимодействие между железом и тяжелыми металлами для ряда культур [6]. Аномальным содержанием же-

леза в тканях характеризуются некоторые растения Алтайского горно-обогатительного комбината: люцерна серповидная, колосняки толстожильчатый и ветвистый (до 9000 мг/кг), хотя концентрация железа в субстрате отвалов превышает его кларк не более чем в два раза [6].

Тростник южный и донник ароматный, произрастая в условиях антропогенной нагрузки, практически не допускают дополнительного (свыше фоново-

го) поступления тяжелых металлов в свои ткани. Это виды с барьерным типом поглощения элементов.

В условиях загрязнения окружающей среды синяк обыкновенный и бодяк щетинистый снижают фоновую интенсивность поглощения элементов, однако высокое содержание тяжелых металлов (Pb, Cd) в субстрате неизбежно приводит к повышению их концентрации в тканях.

Произрастая в условиях техногенной нагрузки, качим Патрэна в несколько раз увеличивает интенсивность поглощения тяжелых металлов и допускает значительное их накопление в своих тканях. Например, при увеличении содержания меди в субстрате в 16 раз (до 350 мг/кг) содержание меди в растении увеличивается в 39 раз (с 2 до 90 мг/кг).

Поглощение тяжелых металлов определяется не только видовыми особенностями растений, но геохимическими и физико-химическими характеристиками субстрата. Концентрации некоторых элементов в субстратах различных по происхождению отвалов горно-обогатительного комбината и золотоизвлекательной фабрики различаются несущественно (Zn: 1880 и 1740 мг/кг; Cd: 7.5 и 5.6 мг/кг соответственно). При этом индексы аккумуляции металлов, как и их концентрация в растениях одного вида (люцерна серповидная), могут заметно отличаться (табл.3).

* * *

Таким образом, мы видим, что уровни содержания тяжелых металлов в субстратах и растениях техногенных ландшафтов Северо-Западного Алтая существенно превышают санитарные нормы и фоновые концентрации. Уже на данном этапе можно дать некоторые рекомендации по рекультивации хвостохранилищ и других ландшафтов, загрязненных тяжелыми металлами. Для предва-



Отвалы Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики.

рительной очистки и стабилизации участков, подверженных техногенному воздействию, в качестве растений-аккумуляторов с последующим их скашиванием и утилизацией можно применять виды с безбарьер-

ным типом поглощения элементов, принимающие значительное участие в формировании фитоценозов техногенных участков, такие как качим Патрэна. Если восстанавливающиеся площади планируются

частично использовать под пастбища, то высевать на них лучше виды кормовых культур, не допускающие дополнительного поступления тяжелых металлов в свои ткани, такие как донник ароматный. ■

Статья выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-05-79180-э_к «Организация и проведение экстренных экспедиционных исследований по оценке воздействия аномальных концентраций тяжелых металлов в компонентах природной среды на здоровье населения».

Литература

1. Отчет о результатах поисково-оценочных работ в пределах техногенных образований золотушинской обогатительной фабрики за 1999—2001 гг. Книга 1. Змеиногорск, 2001.
2. Турчанинов И.А., Иофис М.А. Освоение месторождений комплексных руд Карело-Кольского региона / Ред. В.М.Бусырев. Апатиты, 1988.
3. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М., 1990.
4. Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В. Химическое загрязнение почв и их охрана. М., 1991.
5. Ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы 2.1.7.020-94. М., 1995.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989.
7. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М., 1998.
8. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., 1975.
9. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957.

С 2000 г. пустыни в Китае сокращаются в среднем на 1300 км²/год. В 1990-е годы тенденция была иной: ежегодно пески отвоевывали почти 3,5 тыс. км². Такого кардинального перелома ситуации удалось добиться прежде всего благодаря лесопосадкам. Так, к 2002 г. посажено более 2,3 млрд деревьев на 66 666 км² (это несколько больше территории Литвы). Сегодня леса в КНР занимают 18,12% суши (пять лет назад — 16,6%). Если дело пойдет такими темпами, вполне может быть достигнут намеченный к 2010 г. результат — отдать под леса 20% площади страны.

Science et Vie. 2006. №1064. P.36 (Франция).

С 1960 г. число лесных пожаров в бореальных районах Северной Америки возрос-

ло более чем в два раза. К такому заключению американские экологи М.Касишке и М.Турецки (M.Kasischke, M.Turetsky) пришли после изучения материалов, содержащих сведения о пожарах на Аляске и в Канаде за последние 40 лет. Оказалось, что ныне площадь, на которой происходят пожары, в два раза превосходит площадь, подверженную пожарам в 1960 г. По мнению этих специалистов, такая тенденция подтверждает климатические прогнозы по Северной Америке в той части, что засушливые летние периоды становятся все более и более частыми.

La Recherche. 2006. №399. P.12 (Франция).

Группа исследователей во главе с Р.Сузуки (R.Suzuki; Масачусетский технологический институт, Бостон, США) соста-

вила специальную программу для анализа «песен» китов. Работа показала, что эти животные, общаясь между собой, строят фразы путем сочетания нескольких звуков-слов.

Science et Vie. 2006. №1065. P.28 (Франция).

Катастрофическое цунами, произошедшее 26 декабря 2004 г., нанесло тяжелый ущерб не только людям, но и морским птицам. Так, колония королевских пингвинов (16 тыс. особей) на о-вах Крозе (заморская территория Франции в южной части Индийского океана), которые находились в 6500 км от эпицентра сейсмического толчка, оказалась частично затопленной, что стало причиной гибели яйцекладок и птенцов.

Science et Vie. 2006. №1065. P.40 (Франция).

Королевские

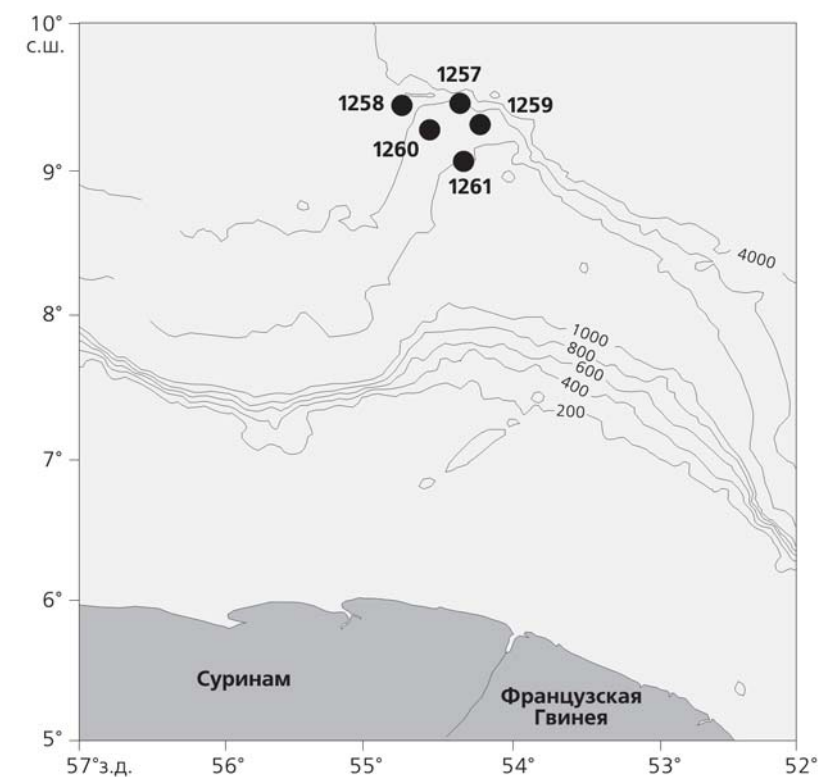
Плато Демерара — свидетель древней истории тропической Атлантики

207-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

И.А.Басов,
доктор геолого-минералогических наук
Н.К.Рубаник
Геологический институт РАН
Москва

История Мирового океана в меловой и палеогеновый периоды богата событиями, которые имели резонанс во многих его частях. Среди них наиболее известны несколько океанских аноксидных (бескислородных) событий в позднем мелу [1], резкое похолодание и массовое вымирание на рубеже мела и палеогена, значительное потепление на границе палеоцена и эоцена, сопровождавшееся вымиранием некоторых групп организмов. Изучение этих событий важно для понимания закономерностей глобальной эволюции океана и его биоты. Но несмотря на почти сорокалетнюю историю глубоководного бурения, более или менее полные разрезы осадков этого возраста в океане единичны.

Один из них вскрыт на плато Демерара в 207-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн», который проводился в январе—марте 2003 г. под руководством Й.Эрбахера (Федеральный отдел наук о Земле и минерального сырья, Ганновер, Германия), Д.Мошера (Бедфордский институт океанографии Геологической службы Канады, Дартмут) и М.Мэлони, представителя Программы оке-



Положение точек бурения в 207-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн».

анского бурения (Колледж-Стейшн, США) [2].

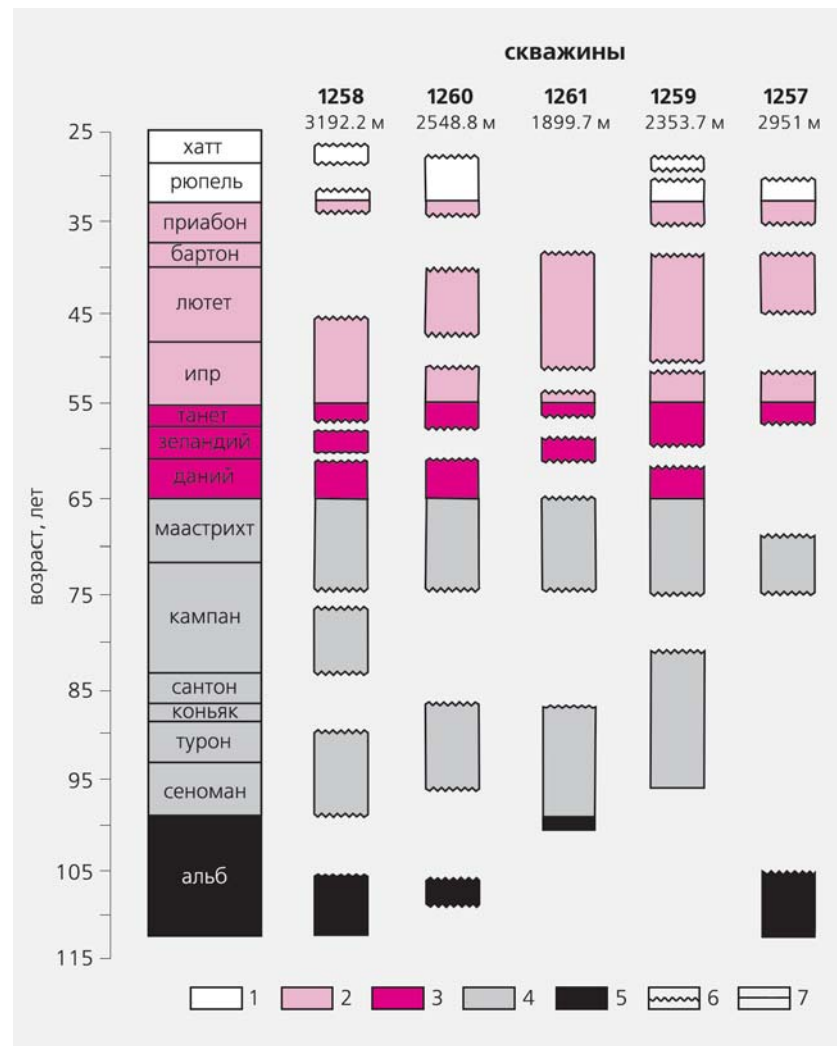
Подводное плато Демерара с глубинами (в вершинной части) от 1 до 3 км расположено в западной тропической части

Атлантического океана примерно в 500 км к северу от побережья Суринама и Французской Гвианы. Оно представляет собой континентальный блок, некогда примыкавший к Африканскому

континенту и отторгнутый от него в процессе раскрытия Экваториальной Атлантики в начале раннего мела. Привлекательное для исследователей плато покрыто мощным чехлом меловых и кайнозойских относительно глубоководных осадков, содержащих записи многих палеоокеанологических, палеоклиматических и седиментологических событий.

В рейсе пробурено 13 скважин в пяти точках (1257–1261) в интервале глубин от 1899.7 до 3192.2 м. Три из них (1257, 1258, 1260) проникли в альбские осадки, остальные две (1259, 1261) были остановлены в сеноманском интервале. Осадки, вскрытые всеми скважинами, образуют практически непрерывную последовательность от нижнего сеномана до низов верхнего олигоцена. Перекрывающие неоген-четвертичные осадки представлены фрагментарно лишь в скважинах 1257 и 1261.

Один из наиболее интересных результатов рейса заключается в том, что скважины вскрыли приблизительно 50-метровую толщу тонкослоистых осадков, обогащенных органическим веществом, которые отлагались в условиях дефицита кислорода в придонных водах бассейна, — черных глинистых сланцев. Предварительный анализ керн показывает, что их интенсивное накопление началось в сеномане и продолжалось вплоть до кампана включительно. Максимальное содержание органического углерода (до 30%) отмечено в сеноман-туронском пограничном интервале, который совпадает по времени с глобальной океанской аноксией. Судя по присутствию в верхней части черносланцевой толщи прослоев с глауконитом и следами роющих организмов, в течение сантонского и коньякского веков бескислородные условия в придонном слое воды чередовались с относительно хорошо вентилируемыми.



Стратиграфия меловых-палеогеновых осадков, вскрытых бурением на плато Демерара. 1 — олигоцен; 2 — эоцен; 3 — палеоцен; 4 — верхний мел; 5 — нижний мел; 6 — перерыв; 7 — согласная граница.

В трех точках (1258–1260) скважины вскрыли границу мела и палеогена, совпадающую со слоем импактных осадков мощностью приблизительно 1.7–1.9 см, происхождение которых связано с падением крупного космического тела. Здесь прослойки темного и более светлого материала в разной степени обогащены черными или зеленоватыми сферами («космическими шариками») от 1 до 2.5 мм в диаметре. Этот тонкостратифицированный слой залегает на еще более тонком (до 3 мм) слое белого карбонатного осадка, сложенном

остатками меловых (позднемаастрихтских) микроорганизмов, который, вероятно, образовался из океанской взвеси, возникшей при ударе космического тела. Слой импактных осадков перекрыт пластичными серыми глинами, переходящими вверх по разрезу в литифицированный писчий мел с мелкими планктонными фораминиферами. Ненарушенный характер мел-палеогеновой границы со слоем импактных осадков придает уникальность пробуренным на плато Демерара скважинам. Это первая находка такого слоя на южноамериканском

континенте. Его происхождение связано с импактным кратером на п-ове Юкатан, который находится на расстоянии около 3500 км к северо-западу от места бурения. Тщательное изучение пограничных слоев разными специалистами позволяет реконструировать последовательность абиотических и биотических процессов, обусловленных столкновением Земли с космическим телом около 65 млн лет назад.

Второй важный рубеж, зафиксированный во всех скважинах, пробуренных в 207-м рейсе, — граница палеоцена

и эоцена, отмеченная в геологической истории океана резким существенным потеплением и реорганизацией биоты. Предварительный анализ керн выявил, что этот рубеж здесь совпадает с резкой литологической границей между светлым зеленоватым писчим мелом палеоцена и темно-зелеными глинами эоцена в нижней части (20 см) с редкими бентосными фораминиферами и обильными, плохо сохранившимися радиоляриями. В 50 см выше границы появляются разнообразные планктонные фораминиферы хорошей сохранности. Их

некоторые виды встречены на этом же стратиграфическом уровне также в других тропических и субтропических районах мира (центральная часть Тихого океана, Египет, Испания, континентальная окраина Нью-Джерси и плато Блэйк в Атлантическом океане).

Таким образом, бурением в 207-м рейсе получены уникальные материалы, которые после их всестороннего изучения различными методами позволят восстановить в деталях историю развития Экваториальной Атлантики в позднемеловое-палеогеновое время. ■

Литература

1. Jenkins H.C. // J. Geol. Soc. London. 1980. V.137. P.171—188.
2. Erbacher J., Mosher D.C., Malone M.J. et al. // PODP. Init. Repts. 2004. Leg.207.

Климатология

Озеро Чад усыхает

Наглядный пример изменения климата Африки являет собой оз.Чад. В настоящее время глубина озера не превышает 10 м, а площадь поверхности составляет не более 1% от его площади шеститысячелетней давности! 6 тыс. лет назад это был четвертый по размерам озерный резервуар земного шара: его максимальная глубина составляла 160 м, объем вод — 13 500 км³, площадь поверхности — 340 тыс. км². Такие результаты получены на основе анализа множества спутниковых данных, позволивших сотрудникам Французского института изучения развития и Монашского университета (Австралия, Мельбурн) реконструировать положение древней береговой полосы этого подлинно гигантского моря пресных вод, выявить береговую бар длиной 2300 км, а также убедиться в безошибоч-

ности проведенных морфометрических расчетов. В полусухой период современной климатической эпохи оз.Чад исчезает в результате испарения и просачивания вод через дно.

Science et Vie. 2006. №1065. P.44 (Франция).

Океанология

Глубоководная обсерватория «МОМАР»

Французские океанографы в августе 2006 г. приступили к монтажу своей первой постоянной глубоководной обсерватории «МОМАР» (Monitoring the Mid Atlantic Ridge). Она расположена к югу от Азорских островов в Атлантическом океане на глубине 1700 м. В этом месте Срединно-Атлантический хребет расширяется, раздвигая Американскую и Африканско-Европейскую плиты со скоростью 3 см/год. Этот процесс сопровождается тектонически-

ми подвижками и гидротермальными явлениями.

«МОМАР» станет первой обсерваторией, которая будет размещена на Срединно-Атлантическом хребте медленного спрединга, и первым звеном Esonet — будущей сети глубоководных обсерваторий, прилегающих к Европе. Под постоянным наблюдением будет находиться крупный подводный вулкан Лаки Страйк. Приборы этой сети позволят вести синхронный мониторинг сейсмичности, гидротермальной циркуляции и их воздействия на локальные экосистемы. Со временем датчики будут связаны через спутник со специализированными лабораториями. Для монтажа всего комплекса обсерватории Французский институт исследования морей (IFREMER) направил два самых крупных судна своего флота «Пуркуа Па?» и «Аталант», а также два подводных аппарата — «Виктор-6000» и «Нотиль».

Sciences et Avenir. 2006. №. 715. P.16 (Франция).

«В Каноссу!»,

или

Как Сергей Чахотин вернулся на родину

М.Ю.Сорокина,

кандидат исторических наук

Архив РАН

Москва

Летом 1921 г. на книжных прилавках Праги появился сборник публицистики «Смена вех», содержание которого бросало вызов той части русской интеллигенции, которая находилась в явной или скрытой оппозиции советской власти. Едва ли не самым ярким и уж точно самым запоминающимся текстом сборника стал манифест политического примиренчества — статья «В Каноссу!»*, подписанная малоизвестным именем — Сергей Чахотин.

Недавний сотрудник пропагандистского отдела Добровольческой армии генерала А.И.Деникина утверждал, что за четыре года войн и революций русская интеллигенция сделала три существенных ошибки: сначала слепо полагалась на народ, затем столь же слепо,

из ненависти к большевикам, стала на сторону Белого движения и, наконец, опрометчиво надеялась на помощь бывших западных союзников России. Теперь, писал Чахотин, пришло время признать ошибочность неприятия большевизма и вернуться на родину (в большевистскую Каноссу) для ее экономического и культурного возрождения.

Казалось бы, после такого публичного выступления сам автор должен стать первым работником на ниве строительства социалистической родины. Однако Сергей Чахотин оказался единственным из «сменовеховцев» — авторов пражского сборника, — кто вернулся в СССР лишь спустя годы после Второй мировой войны. Оказавшись на некоторое время на вершине политико-публицистического Олимпа — не только «Кремль», но и сам Ильич обратили внимание на его призывы, — Чахотин исчез так же быстро и неожиданно, как и появился. Его следы затерялись настолько, что российские историки до сих пор нередко именуют автора «Каноссы» то Чехониным, то Чихотиным, а то и вовсе Челищевым.

Напротив, на Западе славян с мучительно выговариваемой и транскрибируемой фамилией [Tchakhotine / Tchakhotin / Chacotine] давно уже признан «своим» — как выдающийся биолог, один из основоположников



Сергей Степанович Чахотин (1883—1973). Фото 1932 г. Гейдельберг.

современной экспериментальной цитологии и микрохирургии клетки, одновременно страстный антифашист и классик политической философии и психологии, книга которого «Le viol des foules par la propagande politique» («Психическое насилие над массами путем политической пропаганды»), впервые изданная в Париже в 1939 г., поставила своего автора в один ряд с Ханной Арендт, Хосе Ортегой-и-Гассетом, Раймоном Ароном и др.

Многовариантность имени и событийная неординарность судьбы Сергея Степановича Ча-

* Как известно, замок Каносса (Canossa) в Северной Италии стал знаменит в начале XI в. после того, как низложенный германский император Генрих IV вымаливал здесь прощение у папы Григория VII. По преданию, в одежде кающегося грешника Генрих три дня простоял у стен замка, добываясь приема папой. С тех пор выражение «путь в Каноссу» толковалось как метафора унижительной капитуляции и покорности победителю. Между тем адресаты чахотинского послания, имевшие, как правило, классическое гимназическое образование, могли помнить, что хождение и покаяние Генриха IV было не столько «унижением», сколько блестящим политическим маневром, обеспечившим ему возвращение к власти.



В 1891 г. Константинополь.

хотина (1883—1973) — русско-го ученого, художника и революционера, немецкого антифашиста и французского политолога, ровно половину жизни проведшего в Европе, но оставшегося «советским гражданином», — богатый сюжет и для историко-научного исследования*, и для романиста. В фокус нашего внимания он попал в процессе работы над выявлением круга персоналий для биобиблиографического словаря российской научной эмиграции. Недокументированность персональных данных, опора при их восстановлении преимущественно на устную традицию, мемуарные свидетельства или даже научную литературу продолжают порождать или укреплять многие стереотипы восприятия событий советских времен.

Настоящая статья посвящена документированию одного из ключевых эпизодов биографии Чахотина — возвращению на родину в конце 1950-х годов. Несмотря на известность и обширные связи среди европейской научной интеллигенции левого толка, долгие годы на Западе оставалось неизвест-

* В 1995 г. в Киеве издана небольшая монография Ю.И.Посудина «Биофизик Сергей Чахотин».

ным, когда и как ученый вернулся в СССР. Даже Хильда Хардеман — автор капитальной монографии о сменовеховстве [1], ссылаясь на мемуары И.Г.Эренбурга «Люди, годы, жизнь» [2], сообщала, что это произошло в конце 40-х годов, т.е. в период массового возвращения русских эмигрантов после окончания Второй мировой войны. Между тем вплоть до 1957 г. Чахотин оставался во Франции и Италии, предпринимая многочисленные безуспешные попытки получить разрешение на въезд в СССР. Аргументируя «полезность» родине, он написал значительное количество прошений и автобиографий, в которых подробно, хотя и с разными акцентами, излагал основную событийную канву своей жизни. Вот одна из последних, датированная 1956 г. (все авторские особенности текста сохранены) [3. Л.7—9].

«Я, Чахотин Сергей Степанович...

...родился 13 сентября 1883 г. в Константинополе, где мой отец, происходивший из крестьян Костромской губ., был русским консулом. Учился в Одесской 3-ей гимназии, окончил ее в 1901 г. с золотой медалью. Поступил в Московский университет на медицинский факультет, принял участие в студенческом революционном движении, был арестован царским правительством и заключен в Бутырскую тюрьму. Будучи затем выпущен и исключен из университета, уехал в Германию, где учился на медицинском и естественнонаучном факультетах в Берлине, Мюнхене и Гейдельберге.

Окончил Гейдельбергский университет в 1907 г., защитив диссертацию «Die Statocyste der Heteropoden» («Структура и физиология органов равновесия у моллюсков») и получив степень доктора естественных наук, Dr. Phil. (по зоо-

логии, физиологии и химии), с высшим отличием (summa cum laude).

Первая печатная работа была «О биоэлектрических токах у беспозвоночных». Работал много раз на морских биологических станциях в Виллафранке, Триесте, Неаполе, Мессине, Гельголанде, Вимере, Монако и Тамарисе. Был ассистентом в фармакологическом институте Мессинского университета, где был заживо погребен в течение 12 часов под обломками обвалившегося дома во время землетрясения в 1908 г. и сильно изранен.

Вернувшись в Одессу, работал научно в университете, затем опять в Гейдельберге у проф. Бюкли и в раковом институте у проф. Черни. В 1912 г. был приглашен академиком Иваном Петровичем Павловым на должность его ассистента по кафедре физиологии при Академии наук. В 1911 г. изобрел и построил первый микроманипулятор, а в 1912 г. в Генуе метод и прибор для операции клеток при помощи ультрафиолетовых лучей: «микроручеукол». Получил премию Академии наук им. К.Э. фон Бэра. Реорганизовал физиологическую лабораторию Академии наук и был послан несколько раз Академией наук в командировки в Виллафранку и в Неаполь с целями научных исследований.

Во время Первой мировой войны был организатором и генеральным секретарем Комитета военно-технической помощи Объединенных научных и технических организаций. Принял участие в Революции 1917 г. и был генеральным секретарем Комитета социально-политического просвещения и затем Совета депутатов трудовой интеллигенции. Состоял в группе Плеханова «Единство». Зимой 1918 г. уехал на Дон и был руководителем ОСВАГа (Отдела пропаганды) в Добровольческой армии. Убедившись в реакционных тенденциях Белого движе-

№ 1143.

ДѢЛО

ДЕПАРТАМЕНТА

ПОЛИЦИИ.

ДѢЛОПРОИЗВОДСТВО.

*О. д. студента Московскаго
университета Сергея Степа-
новича Чохоткина.*

Начато 1902 г.

Кончено 190 г.

ГАРФ
ФОНДА
ОПИСИ
ДЕЛА
ЛИСТА

Дело Департамента полиции, заведенное на Чохотина в связи с его участием в студенческой сходке 10 февраля 1902 г.

Прошение императору Николаю II
о смягчении наказания.

38/2.

Его Императорскому
Величеству
Государю Императору

Прошение

Бывшаго студента
Императорскаго Московскаго
Университета, върнопод-
даннаго Вашего Император-
скаго Величества Сергея
Степановича Чохоткина

Будучи арестованъ 10 Февраля 1902 года, осужденъ и проситъ Ваше Императорское Величество о смягченіи, если возможно, моей участи въ виду того, что попалъ я на сходку 9 Февраля въ Университетъ случайно, изъ любопытства и глубоко раскаиваюсь въ этомъ; ни въ какихъ обществахъ въ Университетѣ я не принималъ участія и никому противозаконному не сочувствую, какъ върноподданной Вашего Императорскаго Величества и посылу всеподданнѣе прошеу Ваше Императорское Величество снизвести мои милости прощая о смягченіи участи какъ въ виду моей молодости, такъ и слабого здоровья.

Вашего Императорскаго Величества
върноподданной
Сергей Чохоткинъ.

ния, вышел из ОСВАГа и уехал осенью 1919 г. из Новоросийска за границу, порвав все связи с антибольшевистским движением.

Вернулся к научной работе в Париже в Пастеровском институте, в Океанографическом музее в Монако и на русской Зоологической морской станции в Виллафранке.

Написал в 1920 г. свою статью «В Каноссу» для сборника «Смена вех», в которой призывал русскую интеллигенцию прекратить борьбу против Советской власти и принять участие в строительстве социализма на родине; стал одним из руководителей движения сменовеховства. Получил в 1920 г. профессию в университете в Загребе в Югославии, но благодаря травле русской реакционной эмиграции в Сербии бросил Загреб и уехал в Италию, где был на Генуэзской конферен-

ции* и познакомился тогда с Красиным, Чичериным, Иоффе и Воровским. Писал оттуда корреспонденции о конференции в советскую газету «Накануне» в Берлине.

Будучи приглашен Красиным приехать в Берлин помочь ему в деле организации Берлинского торгпредства, переехал туда, стал членом редакционной коллегии газеты «Накануне» и получил советское гражданство в 1922 г. Принял участие в работах Торгпредства, став заведующим организационным отделом его и ревизовал два раза его деятельность по поручению ревизионных комиссий Совнаркомов; был одновременно заграничным сотрудником Народного Комиссариата Рабоче-Крестьянской Инспекции. Написал в этот период книги «Организация. Принципы и методы в производстве, торговле, администрации и политике» и «Иностранная литература по Научной Организации Труда» — обе изданные Госиздатом и Издательством НКРКИ. Сотрудничал в советских журналах по вопросам организации и был приглашен «Правдой» и «Известиями» поехать в качестве корреспондента этих газет на процесс убийцы Воровского в Швейцарию, но получил отказ в визе швейцарского правительства.

Заболев тяжело в 1926 г., уехал на юг, в Геную, где работал три года в Фармакологическом институте университета, особенно над проблемами раковых заболеваний.

Получив в 1930 г. по предложению Альберта Эйнштейна премию общества «Research Corporation» в Нью-Йорке, переехал в Гейдельберг, где работал научно в новом Институте медицинских исследований в отделе биофизики.

Наблюдая в Германии факты борьбы Гитлера за власть,

* Первая после Мировой войны международная конференция с участием 28 государств, в том числе СССР, по экономическим и финансовым вопросам (1922).

видя грозящую СССР и всему миру опасность, принял участие в антигитлеровском движении в Германии, стал руководителем пропаганды Железного фронта**. По приходе Гитлера к власти должен был покинуть Институт и Германию и переехать в Данию, в Копенгаген, откуда продолжал бороться с фашизмом в Германии и в то же время работать научно в лабораториях университета.

В 1934 г. переехал в Париж, где работал научно в университетских лабораториях с лучеуколом по физиологии клетки и открыл наличие павловских условных реакций у одноклеточных, а также работал по этиологии рака. Одновременно продолжал бороться политически с нараставшим во Франции фашистским движением. Руководил лабораториями в госпитале Леопольда Беллана и в Профилактическом институте, где меня посетили в 1937 и 1938 г. академики Л.А.Орбели, А.А.Богомолец и проф. М.П.Кончаловский и смотрели мои опыты и новые методы работы. Читал научные доклады на международных конгрессах по физиологии, цитологии и по борьбе с раковыми заболеваниями: в Копенгагене, Цюрихе, Брюсселе, Риме; был приглашен прочесть доклады о своих работах по лучеуколу в Сорбонне в Париже и в Фарадеевском обществе в Лондоне. Получил премии Французской академии наук и Парижской медицинской академии.

Напечатал в 1939 г. в Париже книгу против Гитлера «Le viol des foules»; она вышла также в переводе на английский язык («The Rape of the Masses») в Англии, в Канаде и в Америке.

Война застала меня в Париже, уехать в СССР вовремя не удалось, хотя я подал о том прошение. В 1941 г. я был арестован немцами и посажен

** Антифашистское объединение, созданное социалистической партией Германии.

в концлагерь в Компье, где пробыл семь месяцев, после чего был выпущен по болезни после вмешательства германских ученых. Книга моя была немцами уничтожена, но они так и не узнали, что я был ее автором.

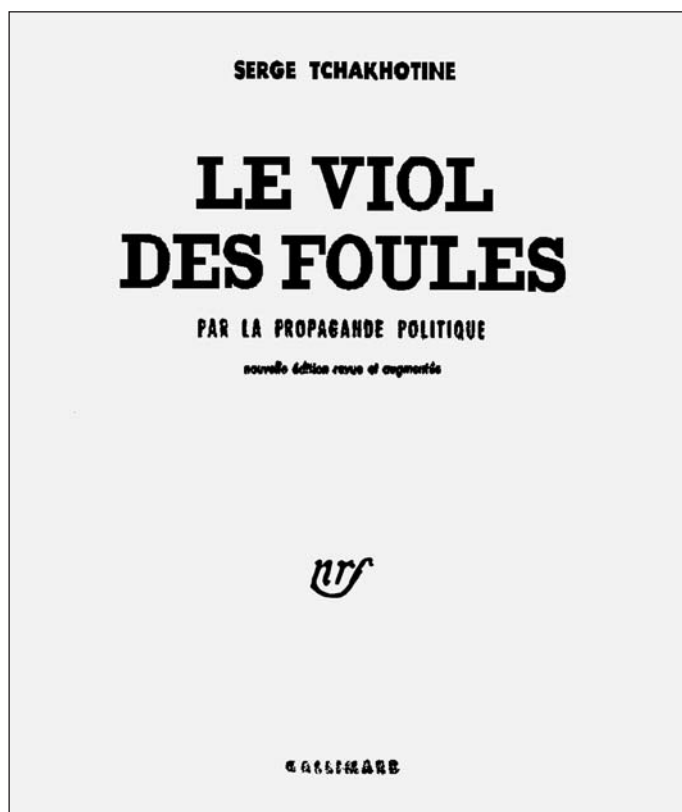
После освобождения Парижа читал лекции на курсах активистов «Советского патриота» и организовал научно-политическое общество «Science-Action-Liberation», а затем Французскую конфедерацию культурных сил (COFORCES), генеральным секретарем которой состоял с 1944 по 1949 г. Задачами обеих этих организаций, между прочим, было также распространять правильные сведения о СССР, вызывать к нему интерес и симпатии в научных и общественно-культурных кругах и бороться против опасности третьей войны и возрождающегося фашизма.

Одновременно я работал научно в Институте физико-химической биологии. Своей деятельностью в названных выше организациях активно способствовал созыву Первого Международного съезда сторонников мира в Париже в 1949 г., идея которого легла в основу работы обеих организаций SAL*** и COFORCES**** с самого их начала в 1944 г., и получила свое полное развитие на двух международных съездах COFORCES в 1947 и 1948 г.

В 1953 г. вышло новое, дополненное и значительно увеличенное издание моей книги

*** SAL — научно-политическое общество «Science—Action—Liberation» (За активность науки для освобождения человечества), организованное Чахотиным в 1944 г.; он был его генеральным секретарем.

**** COFORCES — Французская конфедерация культурных сил («КОФОРС»), генеральным секретарем которой стал Чахотин. Главной задачей была борьба против опасности третьей мировой войны. Эмблема этой борьбы — «перечеркнутая бомба», придуманная Чахотиным в 1946 г., стала символом борьбы против ядерной войны и получила быстрое распространение в других странах.



Обложка и иллюстрация к книге С. Чахотина «Психическое насилие над массами путем политической пропаганды».

о психическом насилии над массами и о тактике фашизма.

В 1955 г. я переехал в Италию, где начал новые работы по целлюлярной фармакологии в фармакологических институтах университетов, сначала в Генуе, а с 1956 г. в Риме, где прочел в конце года большой доклад о моих работах по экспериментальной цитологии и целлюлярной фармакологии.

Живу ныне в Риме в ожидании отъезда в СССР.

Из иностранных языков говорю на восьми и читаю на двадцати.

Профессор, доктор Сергей Степанович Чахотин».

«Возвращенцы» / «невозвращенцы»

Как следует из этой автобиографии, Чахотин, имевший советское гражданство, de jure не был эмигрантом. В какой систе-

ме координат он существовал de facto?

В условиях советского режима, стремившегося к максимальному контролю и ограничению самостоятельного перемещения своих граждан, номенклатура российских «научных мигрантов» XX в. распалась на две неравновеликие группы — «возвращенцев» и «невозвращенцев».

Как известно, юридически «невозвращенцы» стали возникать в России после обнародования Декрета ВЦИК и СНК от 15 декабря 1921 г., предусматривавшего лишение гражданства лиц, выехавших из страны после 7 ноября 1917 г. «без разрешения советской власти», а также тех, кто пробыл за пределами страны свыше пяти лет и не получил в представительствах РСФСР заграничных паспортов. После череды бегств ответственных сотрудников Кремля и ОГПУ советское руководство

постановлением ЦИК СССР от 21 ноября 1929 г. окончательно закрепило политический контент юридического статуса «невозвращенца». Невозвращенцами считались граждане СССР, работавшие за границей и «перебежавшие в лагерь врагов рабочего класса и крестьянства», отказываясь вернуться в СССР [4]. Они объявлялись вне закона, что влекло за собой конфискацию имущества и расстрел через 24 часа после удостоверения их личности.

«Отсутствие» некоторых видных ученых было замечено властью задолго до этого постановления, и еще в 1927 г. под ее давлением АН СССР ввела в новый Устав положение об исключении своих членов «ввиду утраты связи с АН СССР». Всего через год, 15 декабря 1928 г., этот пункт был использован для исключения целой группы академиков и членов-корреспондентов — эмигрантов, восстанов-

ленных в своих академических правах только в 1990 г.*.

В свою очередь группа формальных и неформальных научных «невозвращенцев» оказалась весьма представительна по размерам и тем более по научному авторитету. Несмотря на очевидно репрессивный характер советского законодательства в области гражданства, они в 20—30-е годы продолжали работать за границей, сохраняя советский паспорт, но и не стремясь возвратиться в СССР. Для этих «неформальных невозвращенцев» вопрос гражданства и национально-государственной принадлежности был глубоко вторичен по сравнению с пониманием природы науки как интер- или наднационального института. К этой группе в разные годы принадлежали выдающиеся ученые — естествоиспытатель и философ академик Владимир Иванович Вернадский, физик, будущий Нобелевский лауреат Петр Леонидович Капица, генетик Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский, славист, член-корреспондент АН Николай Николаевич Дурново, академики-химики Владимир Николаевич Ипатьев и Александр Евгеньевич Чичибабин и многие другие. С течением времени часть из них возвратилась в СССР в конце 20-х годов (В.И.Вернадский, В.Н.Дурново), где им были предложены лучшие по сравнению с западом условия работы, а часть, отвергнув в середине 30-х жесткий ультиматум советских властей «вернуться или лишиться гражданства» (В.Н.Ипатьев, А.Е.Чичибабин), стали юридическими «невозвращенцами» и навсегда остались за рубежом**. В то же время немало научных специалистов

* Отметим, что Петр Борисович Струве (1870—1944) — единственный из исключенных в 1928 г. действительных членов Академии не восстановлен в ней до сих пор.

** Кроме того, некоторые «полезные» для советской власти ученые насильно вывозились или оставлялись в СССР, как, например, в 1934 г. это случилось с П.Л.Капицей, а позднее — с Н.В.Тимофеевым-Ресовским.

с советским подданством (как С.С.Чахотин или Н.В.Тимофеев-Ресовский) продолжали работать в европейских научных институтах.

Параллельно постоянному и неиссякаемому движению российских ученых на запад существовал и не менее регулярный, хотя и значительно более скудный, приток научных кадров на восток. Помимо естественной миграции — стремления различных специалистов приехать в страну победившего социализма, беженцев из Германии и других стран, существовали каналы и вполне селективной иммиграции. С середины 1920-х годов советские академики, выезжавшие за границу, имели задание приглашать бывших соотечественников — высококлассных специалистов — в СССР, где им предоставляли отличные условия для работы и жизни. Так, химик-органик, создатель школы химии алкалоидов Александр Павлович Орехов, с 1905 г. работавший за границей (Германия до 1910 г., затем Женева, с 1916 г. Париж), после переговоров с академиком А.Е.Чичибабиным в 1928 г. вернулся в СССР. Здесь Орехов получил специально для него организованный отдел алкалоидов и должность заместителя директора по научной работе Всесоюзного научно-исследовательского химико-фармацевтического института им. С.Орджоникидзе, а в январе 1939 г. избран академиком АН СССР. Однако практика добровольного «возвращенства» не получила большого распространения среди людей науки: например, академик-химик Пауль Вальден, бывший ректор Рижского политехнического института, живший в Германии, отказался приехать в СССР и возглавить кафедру в Ленинградском университете. С течением времени баланс «невозвращенцев» и «возвращенцев» все более складывался не в пользу новой власти.

Кто и как контролировал, регулировал и направлял миграционные потоки ученых в раз-

ные периоды, было ли это результатом целенаправленной политики советского партийно-государственного руководства, отдельных ведомств и научных администраторов или всякий раз спонтанной ситуативной реакцией, ограниченной локальной задачей, остается не проясненным и слабо документированным сюжетом. История возвращения в СССР Сергея Чахотина во второй половине 50-х годов — после XX съезда КПСС, в период начинающейся «оттепели» — показывает, что «внутренний рынок» советской науки не только директивно управлялся «высшими инстанциями», но и был ареной жесткого межличностного столкновения партийных, государственных и научных администраторов.

«Хотя бы в Царевококшайск!»

Хроника послевоенных прошений Чахотина о возвращении в СССР начинается с 1952 г., когда он впервые обратился в посольство СССР во Франции за визой. Не имея ответа, вторично Чахотин направил свои документы уже после смерти И.В.Сталина — в 1954 г. и быстро получил позитивное решение. 24 сентября этого года посол СССР во Франции С.А.Виноградов утвердил «Заключение по ходатайству о въезде в СССР на постоянное жительство местного советского гражданина, профессора Чахотина Сергея Степановича», резюмировав, что «консульский отдел не располагает какими-либо компрометирующими материалами на гр. Чахотина С.С. и ходатайство его о въезде ... поддерживает» [3. Л.41—43].

Через месяц МИД СССР направил запрос главному ученому секретарю АН СССР, академику-химику А.В.Топчиеву о возможности использования Чахотина «по специальности в системе учреждений Академии наук» и получил неожиданно отрицательный ответ. Мотивируя отказ,

высшая советская научная инстанция сообщала, что в учреждениях Отделения биологических наук (ОБН) АН СССР исследования по экспериментальной цитологии не ведутся и потому такие специалисты не нужны [3. Л.38]. Эта формулировка была отнюдь не бюрократическим лукавством, как можно подумать сегодня, но отражала официальную позицию руководства ОБН*. Еще 22—24 мая 1950 г. как раз в этом Отделении состоялось эпохальное совещание по проблеме живого вещества и развития клетки, объявившее «последним словом» советской науки изыскания Ольги Борисовны Лепешинской. В духе времени старая большевичка, поддержанная И.В.Сталиным и Т.Д.Лысенко, носила «реакционера» и «космополита», автора теории «клеточной патологии» Рудольфа Вирхова, классические представления о клетке как «единице жизни», а заодно клеймила и академическую цитологию «прибежищем идеалистов». Сразу после совещания десятки научных оппонентов Лепешинской были изгнаны из Академии наук и университетов, и действительно экспериментальной цитологией в этих учреждениях некоторое время официально не занимались. Тем более академическое руководство не хотело поступлений новых цитологов, да еще с международным научным авторитетом.

Ситуация начала постепенно меняться после кончины Сталина. В 1955 г. на посту академик-секретаря ОБН Опарина сменил известный своими демократическими взглядами и высокой научной репутацией академик-биохимик Владимир Александрович Энгельгардт. По-видимому, кто-то из советских коллег, с которыми Чахотин встречался во Франции и Италии, привлек его внимание к этому знаковому событию, и в январе 1957 г. Ча-

хотин обратился с многостраничными письмами-просьбами о поддержке сразу к президентам двух Академий — АН СССР А.Н.Несмеянову и АМН СССР А.Н.Бакулеву [3. Л.61—64, 77—80], а также к ряду академиков-биологов, в том числе к Л.А.Орбели.

Надежда на новых людей в академическом руководстве оправдалась. Заручившись поддержкой коллег, 30 мая 1957 г. В.А.Энгельгардт сообщил в Иностранный отдел АН, что по «общему мнению академика Орбели, академика Быкова, члена-корреспондента Насонова — к этому мнению присоединяюсь и я, ... в лице проф. Чахотина С.С., в случае его приезда в СССР, советская наука приобрела бы весьма квалифицированного, эрудированного, творчески активного работника, для которого могла бы быть найдена соответствующая его специализации область работы в Институте цитологии АН СССР» [3. Л.82]. Несомненно, решающим стало мнение выдающегося цитолога Дмитрия Николаевича Насонова**, члена-корреспон-

** Семейные обстоятельства Д.Н.Насонова (1895—1957) делали его особенно чувствительным к теме эмиграции. Он был сыном академика-биолога Н.В.Насонова (1855—1939) и Е.А.Корниловой, родной сестры известного историка и секретаря ЦК кадетской партии А.А.Корнилова. В семье было еще трое детей, и все оставшиеся в СССР братья сделали хорошую карьеру: Арсений (1898—1965) стал историком-медиевистом, сотрудником Института истории АН СССР, доктором исторических наук; Всеволод (1900—1987) — ведущим инженером-строителем, доктором технических наук, одним из авторов проектов МГУ на Ленинских горах, лауреатом Сталинской и Ленинской премий. Единственная дочь в семье — Антонина (Нина) Николаевна (в первом браке Сеземан) — в 1919 г. эмигрировала из России, жила в Париже, где вместе со своим вторым мужем, Николаем Андреевичем Клепниным, входила в круг евразийцев, работавших на советскую разведку. В 1937 г., после убийства И.Рейсса, всей семьей (муж, два сына и дочь) они вернулись на родину, вместе с М.И.Цветасовой и ее семьей жили в Болшево на даче НКВД. Арестована в ночь с 6 на 7 ноября 1939 г. в доме отца, академика Н.В.Насонова, и расстреляна. Подробнее см. [5].

дента АН СССР и академика АМН СССР. В первые послевоенные годы он заведовал в ЛГУ кафедрой общей и сравнительной физиологии и возглавлял знаменитый Институт экспериментальной медицины (ИЭМ), однако после выступления Лепешинской лишился всех академических позиций, оставшись лишь с группой из трех человек в ИЭМ и небольшой лабораторией из четырех человек в ЛГУ. Ослабление влияния лысенковцев в АН СССР после смерти Сталина и приход Энгельгардта позитивно сказались и на судьбе Насонова, вернувшегося к активной работе в АН и вскоре добившегося решения об организации Института цитологии (постановление Президиума АН СССР от 22 февраля 1957 г.). Именно этот институт имел в виду все тот же А.В.Топчиев, когда в июле 1957 г. сообщил в МИД, что теперь АН СССР может трудоустроить Чахотина в Ленинграде [3. Л.81].

Казалось бы, патронаж МИД и АН СССР открывали Чахотину дверь в СССР, однако новым препятствием оказался «квартирный вопрос», который ни одно из ведомств не хотело решать самостоятельно. Верный своей тактике атаковать советские инстанции публичными обращениями, осенью 1957 г. Чахотин написал и отправил в СССР «Записку к делу о возвращении на родину» [3. Л.55—58об.], в которой сформулировал возможные, по его мнению, причины неудач своих ходатайств и способы их преодоления.

Среди причин он выделил три наиболее вероятные: «определенно враждебное отношение ко мне решающих инстанций», «халатное отношение тех, от кого зависело принять соответствующее решение и меры» и «бюрократическая волокита в учреждениях (Академия наук или МИД)». «Инстанции» и МИД Чахотин отверг сразу: «Если бы за мной значилась хотя бы тень враждебности к Советскому Союзу и его политике или отноше-

* Отделение биологических наук возглавлял сторонник «народного» академика Т.Д.Лысенко академик-биохимик Александр Иванович Опарин.

Возвращение

18 91
E
Vivu ESPERANTO!
уф-микро-скальпель 1912
Против Гитлера 1932
Против ядерной войны 1945-1963

ЗАДАЧИ : 1963... ЦЕЛИ:

Разоружение
СВОБОДА (от страха)

Наука СЧАСТЬЕ
Медицина РАВЕНСТВО

Педагогика ТРЧА
Эсперанто БАТЕСТВО

Искусство Мир (дундава)

ОНОТ

НА ПАМЯТЬ
от
доктора биологических наук,
доктора философии
Гейдельбергского Университета
Сергея Степановича
ЧАХОТИНА

*Тяжелоураженному
Тяжелоураженному Франку
с наилучшими пожеланиями
здоровья и успешной научной
работы.*

С.С. Чохотина

И вот уже 80-летие 26 сент 1963

* 1883 †

Фрагмент письма Чохотина, посланного Г.М.Франку 26 сентября 1963 г.

ние, выражавшееся во вредительстве, то ясно, что наши консульства не продлевали бы каждый год в течение 35 лет мой заграничный вид на жительство, выданный мне в 1922 г. советским посольством в Берлине». Более вероятным очагом неприятия он пронципательно считал научную среду. Те, кто знал его лично, скончались, а более молодые «в силу недостаточных контактов с мировой наукой» не знали его имени и работ. Кроме того, замечает Чохотин, «в то время, как математика, физика, химия, астрономия и, конечно, техника, сделали у нас на родине огромный шаг вперед, этого, к сожалению, отнюдь нельзя сказать о биологических науках: они, после системы Павлова, пока в загоне».

В конце «Записки» Чохотин набросал «проекты найти выход

из положения, создавшегося в результате задержек в отъезде на родину»:

«1. Не обратиться ли мне к общественному мнению в СССР, например, помещением в «Правде» статьи на тему «о непонятных бюрократических помехах в деле возвращения советского ученого на родину?»

2. Не обратиться ли к Никите Сергеевичу Хрущеву с изложением моего «хождения по мукам» и с просьбой помочь мне, старому социалисту, прибыть на родину и быть ей полезным своими научными знаниями и опытом? Он, как живой и отзывчивый человек, наверное, найдет возможность это сделать.

3. Столько иностранных ученых приезжает ежегодно в СССР знакомиться с состоянием науки у нас и с целью знакомить наши научные круги с ре-

зультатами своих работ. Неужели мне, советскому ученому, имеющему за собой целый ряд работ и открытий, поразивших заграничные ученые круги в Германии, Англии, Франции, Италии, Дании, а также видевших мою методику за границей И.П.Павлова и А.А.Богомольца, невозможно приехать на родину, хотя бы на гастроли, т.е. чтобы прочесть доклады о своих работах в наших ученых учреждениях?

4. Я, работавший в лучших лабораториях и институтах Европы, думал ехать, совершенно естественно, в наши научные учреждения в одной из столиц. Говорят, что помеха этому — квартирный кризис в столицах. Так пусть же мне дадут визу куда угодно, хотя бы в Царевококшайск! Уж там-то, наверное, перенаселения не наблюдается.

5. Или, если бюрократические навыки в наших научных учреждениях еще не изжиты и мешают мне, советскому ученому, приехать вскоре на родину и быть ей полезным своими знаниями, то, может быть, я могу получить работу и, следовательно, визу на въезд по другому ведомству, например, по МИД — ведь говорю на восьми языках и читаю и понимаю еще на двенадцати других и хорошо осведомлен в политическом положении всех европейских стран за последние десятилетия, так как всегда интересовался политикой. Думаю, что могу быть полезен родине хотя бы этим, не говоря уж о том, что всегда смогу зарабатывать на жизнь себе и сыну литературной или публично-лекторской работой.

6. Неужели же мне, ученому с известным повсюду за границей именем, представленные мною отзывы восемнадцати крупнейших европейских, советскому гражданину и старому социалисту, которому жизнь на Западе опротивела, нужно ехать в Китай, Египет, Сирию или на Луну?»

Хотя на «Записке» не указаны «адресаты», но она явно достигла их и произвела впечатление. Вскоре решение «дела Чахотина» перешло на уровень первых лиц, причем на этот раз инициа-

тором выступала сама АН СССР. 23 октября ее президент А.Н.Несмеянов, подтвердив согласие взять ученого на работу, просил министра иностранных дел СССР А.А.Громыко возбудить от имени МИД ходатайство перед Советом Министров СССР о предоставлении Чахотину квартиры в Ленинграде [3. Л.50—51]. После вмешательства на таком уровне Исполком Ленинградского горсовета уже 22 ноября рапортовал, что «Чахотин С.С. по приезде в Ленинград будет обеспечен жилой площадью» [3. Л.49].

Еще через месяц, 24 декабря последовало распоряжение Президиума АН СССР о назначении С.С.Чахотина старшим научным сотрудником Института цитологии АН СССР [3. Л.95] и его возвращении в СССР. Жизнь на родине оказалась столь же трудной и тернистой, как и путь к ней; впрочем, это уже сюжет для другого рассказа.

Эпилог

Сергей Степанович Чахотин скончался в Москве на католическое Рождество 1973 г. В феврале 2006 г. в берлинском Музее фотографий Хельмута Ньютона открылся «Макроскоп», гигантская аудиовизуальная инсталляция, метафора вечного жизнен-



В последние годы жизни.

ного круга человеческого духа — его скитания, борьбы и возвращения к себе. Сквозь главный научный инструмент Чахотина — микроскоп, автор инсталляции — его правнук, художник Борис Чахотин-Харс* попытался взглянуть на судьбу прадеда и нескольких поколений своего рода в пространстве и масштабе Большой Истории. Оказалось, они связаны «одной цепью», но понять эту связь можно только используя оптику макроскопа. ■

* Инсталляция выполнена совместно с Хансом Нельсом.

Статья подготовлена в рамках проекта, поддержанного РГНФ (№05-03-03101а).

Литература

1. *Hardeman H.* Coming to Terms with the Soviet Regime. DeKalb, 1994.
2. *Эренбург И.* Собр. соч. Т.8. М., 1964.
3. Архив РАН. Ф.411. Оп.58. Д.2318.
4. СССР. Собрание законов. 1929. №76.
5. *Никольский Н.Н., Розенталь Д.Л.* // Вестник РАН. 1995. Т.65. №10.

Новости науки

Астрофизика

В эллиптических галактиках все-таки есть темное вещество

Предполагается, что каждая галактика окружена гало, состоящим из темного вещества, которое можно обнаружить только по его гравитационному действию. Согласно теории холодной темной материи, темные гало послужили своеобразными «затравками» для образования гигантских звездных систем. В 2003 г. этот сценарий столкнулся с серьезным противоречием: анализ кинематики эллиптических галактик привел А.Романовского (A.Romanowsky; Ноттингемский университет, Великобритания) с соавторами к выводу, что наблюдаемые скорости звезд в этих системах объясняются тяготением видимого вещества и не требуют предположения о наличии невидимого компонента. Кажущееся отсутствие темной материи в эллиптических галактиках удивительно в контексте популярной теории их образования, согласно которой эллиптические галактики образуются в результате слияния дисковых звездных систем. В последних массивные гало из темного вещества определено имеются. Куда же они исчезают во время слияния?

А.Декель из Иерусалимского университета и его коллеги (Израиль) предложили свой вариант анализа наблюдений, который хорошо согласуется со стандартной теорией и «возвращает» темную материю обратно в эллиптические галактики¹. Рассчитанные на суперкомпьютере модели слияния звездных систем показывают, что наблюдения, о которых было объ-

явлено в 2003 г., на самом деле не позволяют судить о наличии или отсутствии темного вещества.

Существование темных гало вокруг спиральных звездных систем вытекает из анализа круговых движений звезд. Поскольку большая часть видимой массы галактики сосредоточена в ее центральной области, звезды на больших расстояниях от центра должны двигаться намного медленнее, чем близкие к нему светила. Между тем наблюдения нашей и других спиральных галактик указывают, что орбитальная скорость звезд на окраинах диска остается постоянной. Причина этого, согласно теории, как раз и состоит в присутствии громадного невидимого гало, которое оказывает гравитационное влияние на ее звезды.

В эллиптических галактиках движения звезд на больших расстояниях от центра изучать трудно, поскольку в близких окрестностях Млечного Пути таких систем нет. Поэтому астрономы изучают их кинематику по ярким планетарным туманностям. Во внешних областях четырех близких эллиптических галактик Романовскому и его коллегам удалось определить лучевые скорости большого количества планетарных туманностей. Оказалось, что их лучевые скорости убывают с увеличением расстояния от центра галактики, как это должно происходить в отсутствие темного гало.

Объяснение, предложенное Декелем и его коллегами, отчасти основывается именно на том, что наблюдениям была доступна лишь проекция скоростей планетарных туманностей на луч зрения. Согласно новой модели, в процессе слияния, которое порождает эллиптическую галактику, большая часть звезд отбрасывается на до-

вольно значительные расстояния от центра новой системы. После слияния они оказываются на очень вытянутых орбитах. Наблюдателю, находящемуся вне галактики, звезда на такой вытянутой орбите видится удаленной от галактического центра в проекции на плоскость небосвода, только если большая ось орбиты примерно перпендикулярна лучу зрения. «Настоящие», трехмерные скорости таких объектов могут быть очень велики, но их движение по направлению к наблюдателю или от него будет очень незначительным. Если же большая ось орбиты параллельна лучу зрения (с соответствующей высокой лучевой скоростью), то со стороны наблюдателя такая звезда проецируется на густонаселенный центр галактики и теряется на его фоне, становясь недоступной для наблюдений.

Авторы рассчитали выборку из более чем 200 моделей слияния и в 10 случаях получили эллиптические системы, похожие на галактики, наблюдавшиеся в 2003 г. При этом результаты расчетов полностью согласуются с данными наблюдений и таким образом снимают противоречие с моделью холодной темной материи.

© Вибс Д.З.,
доктор физико-
математических наук
Москва

Астрофизика

Необычная пара коричневых карликов в Орионе

Результаты подробных наблюдений уникальной затменной двойной системы представили Й.Чу (Y.Chew; Университет Вандербильта, США) и его коллеги на

¹ Dekel A. et al. // Nature. 2005. V.437. P.707.

конференции Американского астрономического общества в июне 2005 г. Сама двойная система находится в Большой Туманности Ориона — молодой области звездообразования (возраст не более нескольких миллионов лет), а обе ее компонента — это коричневые карлики, звездоподобные объекты, масса которых недостаточно велика для начала термоядерных реакций.

Авторы наблюдали за системой на протяжении трех последних лет, используя 1.3-метровый телескоп Межамериканской обсерватории Сьерра-Тололо (Чили), следя одновременно за орбитальным движением компонентов и изменением их суммарной яркости в результате взаимных затмений. Кривая блеска (т.е. зависимость полного блеска системы от времени) в сочетании с данными о взаимном движении компонентов позволила определить их размеры. Масса первичного компонента равна $0.053 M_{\odot}$; его радиус составляет 0.89 солнечного. Вторичный компонент имеет массу $0.034 M_{\odot}$, а его радиус — $0.70 R_{\odot}$. Столь заметные размеры при микроскопической массе согласуются с молодостью объектов, которые просто не успели еще сжаться до своих окончательных объемов, которые, вероятно, будут в несколько раз меньше. Объекты движутся вокруг общего центра масс по вытянутой орбите с большой полуосью $8.52 R_{\odot}$, совершая полный оборот за 9.78 дней.

Два затмевающих друг друга коричневых карлика скорее всего сформировались одновременно из одного и того же газово-пылевого облака. Согласно общепринятой теории звездообразования, массивный компонент должен рождаться более горячим и остывать более продолжительное время, чем его меньший собрат. К удивлению исследователей, в данной системе ситуация диаметрально противоположная: вторичный компонент, имеющий температуру 2850 К, оказался на 150 К более горячим, чем первичный. Причины такого расхождения между теорией и наблюдения-

ми пока непонятны. Если объяснение не будет найдено, придется признать, что модели коричневых карликов и внесолнечных планет далеко не так надежны, как хотелось бы. Между тем они широко используются для оценки эволюционного статуса объектов, параметры которых не удается определить более прямым способом.

http://SkyandTelescope.com/news/article_1525_1.asp

Планетология

Семейство транснептунового астероида

Спорам, которые разгорелись вокруг классификации планет и астероидов на Генеральной ассамблее Международного астрономического союза (МАС, Прага, 2006), средства массовой информации уделили очень много внимания. В основном все дискуссии сосредоточились на Плутоне и «десятой планете» — транснептуновом объекте 2003 UB313, который ранее был известен под неформальным именем Зена, а в сентябре 2006 г. обрел официальное название Эрида. Но за бурными словесными баталиями в некотором забвении оказался другой крупный транснептуновый астероид — 2003 EL61, у которого есть реальные шансы стать самым интересным объектом Солнечной системы за орбитой Нептуна.

На необычность объекта 2003 EL61 астрономы обратили внимание уже вскоре после его открытия. Период вращения — всего 3.9 ч — делает его самым быстро-вращающимся среди всех известных астероидов диаметром более 100 км. Его форма также весьма примечательна: объект 2003 EL61 напоминает дыню с размерами 1960 км на 2500 км. Иными словами, максимальный поперечник этого объекта сравним с диаметрами Плутона и Эриды или даже превосходит их. В спектре 2003 EL61 сильны линии поглощения водяного льда, но плотность и скорость вращения свидетельствуют, что лед покрывает его по-

верхность тончайшим налетом. В остальном же астероид состоит из твердых каменных пород. Еще одна достопримечательность 2003 EL61 — два спутника: внутренний на вытянутой 35-суточной орбите и более яркий внешний на круговой 49-суточной орбите. Совокупность всех этих характеристик говорит о том, что объект 2003 EL61 в прошлом столкнулся с другим астероидом, что ускорило его вращение и оставило осколки в виде спутников.

К.Баркум (K.Barckume; Калифорнийский технологический институт, США), представившая эти результаты на совещании Планетного отделения Американского астрономического общества в ноябре 2006 г., полагает, что обстоятельства столкновения были довольно необычными. Баркум проводила спектроскопический обзор объектов пояса Койпера диаметром от 500 до 1000 км с целью выяснить их состав и физические характеристики. В ходе этого обзора она и ее коллеги обнаружили по крайней мере пять транснептуновых астероидов, очень похожих на 2003 EL61, т.е. имеющих похожие орбиты и спектры с сильными линиями поглощения водяного льда. Авторы исследования считают, что эти объекты родственны 2003 EL61, точнее, были оторваны от него в том же столкновении, которое породило два известных спутника. Наличие сохранившегося тонкого ледяного покрова говорит о том, что катастрофа случилась совсем недавно (по астрономическим меркам, конечно).

Схожесть орбит этих объектов несет в себе косвенную информацию об энергетике столкновения. Считается, что в результате столкновений, происходящих в поясе Койпера, образуются либо осколки, разлетающиеся на различные расстояния, либо спутники, но не те и другие одновременно. Увидеть и спутники, и осколки, полностью оторвавшиеся от родительского тела, весьма необычно. Вероятно, удар произошел с энергией, достаточной, чтобы вывести осколки за пределы гравитационного влияния объекта 2003 EL61,

но не более того. Не исключено также, что спутники 2003 EL61 не отлетели от него целиком, а сконденсировались из вещества, выброшенного при столкновении и образовавшего вокруг астероида временный диск.

Пока семейство 2003 EL61 включает следующие объекты: 1999 OY3; 1995 SM55; 1996 TO66; 2002 TX300; 2003 OP32 и два его спутника. Но Баркум планирует в ближайшее время проверить еще несколько астероидов, которые также могут быть связаны с 2003 EL61.

<http://skytonight.com/news/home/4398671.html>

Физика

Структура твердого кислорода

Твердый кислород, образующийся при больших давлениях, отличается необычными магнитными свойствами (O_2 — единственная двухатомная молекула, обладающая магнитным моментом), кроме того, с ростом давления он переходит из диэлектрического состояния в металлическое, а при $P = 100$ ГПа и $T_c = 0.6$ К становится сверхпроводником. К настоящему времени известно шесть различных кристаллических модификаций твердого кислорода, в том числе и существующая в широком диапазоне давлений так называемая ϵ -фаза, очень сильно поглощающая ИК-излучение и отличающаяся темно-красным цветом. Установлено, что она имеет моноклинную симметрию, а молекулы O_2 в ней объединены в большие группы. Но определить точную структуру этой фазы долго не удалось.

Недавно две группы исследователей (британо-франко-канадская и японская), изучавшие рассеяние рентгеновских лучей соответственно на монокристаллах и поликристаллических образцах ϵ -фазы, независимо друг от друга показали, что сильное взаимодействие между молекулами O_2 приводит к формированию кластеров O_8 , из которых и образуется кристал-

лическая решетка¹. Расстояние между молекулами O_2 в кластерах O_8 составляет 0.218 нм, а между кластерами — 0.256 нм.

Любопытно, что теоретические квантово-механические расчеты свидетельствуют об энергетической невыгодности такой решетки по сравнению со структурой, в которой молекулы O_2 образуют квазиодномерные цепочки. Возможно, дело здесь в недостаточной точности методов расчета. Тем не менее результаты исследований представляют большой интерес еще и в свете недавних сообщений об экспериментальном обнаружении немолекулярных форм азота и водорода.

http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/6_19/index.htm

Физическая химия

Эластичные композиты на основе глины

Глины считаются полезными армирующими материалами, так как их отдельные частицы имеют форму чешуй с развитой поверхностью, доступной для химического связывания с полимерами. Однако синтез композитов путем введения больших количеств глины в полимеры затруднен эффектами агрегации или дисперсии, ухудшающими их механические свойства. К.Харагучи (К.Наругучи; Институт химических исследований, Чиба, Япония) с сотрудниками воспользовались образованием геля в водном растворе для создания композита из гидрофобного полимера (2-метоксиэтилакрилата) и гидрофильной гекторитовой глины. В процессе полимеризации чешуйки глины выталкиваются из частиц полимера и образуют оболочки вокруг них. После высыхания композита эти глиняные оболочки сшиваются друг с другом в трехмерные пористые структуры, которые авторы охарактеризовали, используя просвечивающий электронный микроскоп.

¹ Lundegaard L.F. et al. // Nature. 2006. V.443. P.201—204; Fujibisa H. et al. // Phys. Rev. Lett. 2006. V.97. P.085503.

Неожиданным свойством таких композитов оказалась их способность без разрушения подвергаться значительным растягивающим деформациям. В результате предварительной необратимой вытяжки они обретают эластичность, т.е. последующие деформации становятся обратимыми: после снятия нагрузки образцы восстанавливают первоначальную форму. Кроме того, эти композиты прозрачны и пропускают более 90% света независимо от содержания глины (до 30% по объему). В отличие от многих других содержащих глину композитов, они не набухают при погружении в воду и не растворяются в органических растворителях, способных растворить чистый полимер.

Advanced Materials. 2006. V.18. P.2250 (Международный журнал).

Химия

Углеродные нанотрубки в дамасской стали

Секреты изготовления дамасской стали, из которой средневековые кузнецы делали непревзойденное по прочности холодное оружие, до недавних пор не были разгаданы: не существовало аппаратуры, позволяющей определить одновременно не только химический состав, но также форму и кристаллическую структуру входящих в ее состав веществ. И вот это удалось сделать немецким специалистам. Они изучили образец дамасской стали, из которой в XVI в. была изготовлена сабля, хранящаяся в Историческом музее Берна (Швейцария). Растворив в соляной кислоте металлы, входящие в состав образца, ученые обнаружили длинные объекты нанометровых поперечных размеров. При детальном исследовании с помощью просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения выяснилось, что это... многослойные углеродные нанотрубки, заполненные цементитом (карбидом железа Fe_3C)! Расстояние между слоями в нанотрубках оказалось близким к типичной для таких систем величине 0.34 нм.

Поскольку нанотрубки обладают рекордной прочностью на растяжение (величина модуля Юнга 10^{12} Па), стало понятно, чем объясняется исключительное качество дамасской стали. Но нельзя не удивляться изобретательности средневековых кузнецов, которые, не имея представления ни о структуре, ни о способах получения нанотрубок, сумели эмпирическим путем получить содержащий их конструкционный материал. И хотя процесс изготовления дамасской стали остается пока тайной, теперь появилась возможность воспроизвести средневековую технологию в лабораторных условиях.

Nature. 2006. V.444. P.286 (Великобритания); http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/6_19/index.htm

Зоология

Выбор места для кладки с использованием чужого опыта

Выбор места для сооружения гнезда — весьма важный момент в биологии размножения яйцекладущих пресмыкающихся: ведь их эмбрионы развиваются в яйцах долго, нередко — несколько месяцев. И успех инкубации всецело зависит от условий среды — температуры, влажности, защищенности от хищников и неблагоприятных явлений природы (затопления, например). Собственно, родительская забота у подавляющего большинства видов яйцекладущих рептилий и сводится к тщательному выбору «правильного» места для гнезда. Но уж к этой обязанности самки многих видов относятся вполне ответственно, иногда даже пускаясь в далекий путь в поисках подходящего биотопа.

До сих пор считалось, что при выборе подходящего места для откладки яиц самки пресмыкающихся учитывают комплекс абиотических факторов — структуру субстрата, влажность, экспозицию, близость водоема. А вот австралийские герпетологи Г.Браун и Р.Шайн из Сиднейского универси-

тета¹ решили выяснить, не принимают ли во внимание заботливые родительницы следы жизнедеятельности других животных, например остатки яйцевых оболочек, свидетельствующие о состоявшейся успешной инкубации кладки, а вот запаховый след хищника мог бы, напротив, отпугнуть самку.

Эксперименты проводились с ужовыми змеями *Tropidonophis mairii*. Отловленных в природе беременных самок этой небольшой (около 50 см длиной) безвредной змеи помещали в вольеры с двух-трехгнездовыми камерами. Змеи могли выбирать между совершенно чистой (контрольной) камерой и камерами либо с запахом их естественного врага — другой, гораздо более крупной ужовой змеи *Stenogonus cucullatus*, — либо с оболочками яиц, оставшимися после вылупления. При этом использовали как оболочки яиц самих тропидонофисов, так и стеногонуса.

Камеры с запахом хищника родительницы игнорировали, зато достоверно чаще выбирали для своих кладок гнездовые камеры с оболочками яиц. При этом видовая принадлежность этих остатков значения не имела. Очевидно, для змей важным было лишь то, что данное место уже успешно опробовано для ответственного процесса инкубации яиц.

© Семенов Д.В.,

кандидат биологических наук
Москва

Молекулярная генетика. Медицина

Ген, контролирующий рост волос

Известно, что фармацевтические и косметические компании ежегодно тратят миллионы долларов для разработки средств против облысения. Однако молекулярные механизмы, контролирующие рост волос человека и их утрату при облысении, еще неясны. Вновь открытая мутация в одном из генов может пролить свет на причины облысения и указать

путь для создания новых средств контроля за ростом и укреплением волос.

Группа российских и американских генетиков, исследовавших эту проблему, установила, что дефицит роста волос у человека связан с генетическим дефектом гена фосфолипазы. Еще раньше российские генетики во главе с Е.И.Роговым (Центр психического здоровья РАМН) и Е.К.Гинтером (Медико-генетический центр) описали одну из форм такого заболевания — гипотрихоза, наблюдавшегося в конкретной этнической популяции в России. У обследованных мужчин и женщин, помимо облысения, отмечался также дефицит роста волос по всему телу.

Для того чтобы идентифицировать предполагаемый ген, связанный с этим заболеванием, исследователи расширили выборку до 350 тыс. человек из разных групп, включив 50 семей. Для выявления гена применили стратегию картирования и позиционного клонирования, ранее успешно использованную при поиске других генов человека (например, генов болезни Альцгеймера).

Анализ ДНК больных и их здоровых родственников показал, что у всех страдающих гипотрихозом наблюдалась мутация в гене фосфолипазы — фермента, продуцирующего биоактивные липиды. В норме этот фермент синтезируется в волосных фолликулах, включая участки, содержащие стволовые клетки, и, следовательно, должен участвовать в росте волос.

Обнаруженная мутация указывает на важную роль фосфолипазы в регуляции роста волос. Однако для определения точной физиологической функции фермента необходимы дальнейшие исследования.

Это открытие позволит разработать методы лечения, направленные на восстановление роста волос на молекулярном уровне. Российские ученые намерены продолжать научные исследования для создания лекарственных препаратов против облысения.

Science. 2006. V.314. №5801. P.982–985 (США).

¹ Brown G., Shine R. // Canadian Journal of Zoology. 2005. V.83. №8. P.1134–1137.

Активные разломы и предвестники землетрясений

Активные разломы и деформационные предвестники землетрясений идут как бы по разным научным ведомствам: одни изучаются геологами и геоморфологами, другие — сейсмологами и геофизиками. Но теперь выясняется, что между ними существует непосредственная связь. Долгое время предвестники землетрясений обнаруживались не только после события, но и в более или менее случайных точках, на разных удалениях от эпицентров землетрясений, что создавало впечатление хаотичности предвестников. Для выявления тонких геодинамических процессов, характера изменений напряженно-деформированных участков земной коры (и отдельных структур), а также их невидимых соотношений с сейсмическими явлениями потребовались точные и длительные измерения деформаций и смещений. По мере накопления стационарных мониторинговых измерений за сравнительно продолжительное время обнаружилось, что в некоторых пунктах, даже более удаленных от возникающих сейсмических событий, предвестниковые явления выражены сильнее. Объем измерительных данных по скважинам, в основном связанных с гидрогеологическими и другими несейсмическими предвестниковыми явлениями, привело 20 лет назад И.Г.Киссина к представлению о неких «чувствительных зонах» — так называют наиболее подвижные контакты между крупными блоками земной коры или участки, где наблюдаются высокоамплитудные и отдаленные предвестники землетрясений, а также постсейсмические эффекты.

Как выяснилось, «чувствительные зоны» располагаются главным образом в пределах активных разломов, т.е. там, где линейное разрывное нарушение развивается и в настоящее время, оставая фиксируемое перемеще-

ние крыльев разлома друг относительно друга, как правило, нарастающее со временем. В таких зонах, видимо, проявляются особые нелинейные динамические и физические свойства разуплотненного вещества, происходит концентрация упругих напряжений, из-за чего они и становятся наиболее чувствительны к внешним физическим и механическим воздействиям, таким как изменения уровня и температуры подземных вод, наклона земной поверхности, неприливных сил тяжести, разности геомагнитных полей, электропроводимости горных пород или грунтовой воды, выделения гелия. Именно эти параметры, а не сами напряжения, обычно и измеряются. При этом речь идет о величинах, на один-два порядка превышающих нормальные изменения, в том числе предсейсмические и постсейсмические. Так фактически намечается связь в цепочке: активный разлом — тензочувствительные зоны — деформационные предвестники землетрясений.

Другой не менее важный подход к проблеме основан на высокоточных измерениях смещений бортов разрывов (разломов) на поверхности и под землей одновременно по трем взаимоперпендикулярным осям (способ инженера Б.Коштыка, Чехия). Речь идет о деформометрических и тензометрических измерениях непосредственно в видимых разрывах (разломах), среди которых могут оказаться и активные. Первые результаты трехлетних наблюдений (1989—1991) на Гармском полигоне (Таджикистан, Южный Тянь-Шань), а затем в Болгарии показали, что чувствительными к колебаниям напряжений в земной коре могут быть не только собственно активные разломы, но и совсем мелкие разрывные нарушения в массивах горных пород, вплоть до послойных.

С физической точки зрения приуроченность чувствительных участков к активным разломам понятна, ибо именно в подвижных, а не в залеченных разломах присутствует субстрат-заполнитель,

относительно мягкий или даже рыхлый, флюидопроницаемый, податливый к упругому и пластическому деформированию, а также смещениям в разных плоскостях, несравненно большим по величине, чем среда жестких крыльев таких разломов.

Аномалии выявлены на эпицентральных расстояниях 100—200 км при землетрясениях с $M = 5+6$, 200—560 км при землетрясениях с $M = 7.0+7.8$, что еще в 80—90-х годах прошлого века показало возможность отдаленных (пространственно) эффектов, в том числе предвестниковых. Ныне по независимым исследованиям в Армении и Европе отдаленные эффекты Измитского землетрясения 17 августа 1999 г. с $M = 7.8$ можно считать отчетливо проявившимися на расстоянии 1380 км к востоку и 570 и 1400 км — к северо-западу. Речь идет не о воздействии самих землетрясений, но именно о сугубо временной динамической реакции среды в пунктах наблюдений в интервалы перед, во время и после сейсмических событий. В случае Измитского землетрясения аномалии фиксировались за четыре года и за три месяца — на северо-западе и за пять месяцев — на востоке. Столь отдаленные предвестники, кажется, трудно представить, однако известно, что еще раньше по гидрогеологическим признакам выделялись предвестниковые аномалии на таких и даже значительно больших расстояниях при сильнейших землетрясениях мира.

Таким образом, задача всестороннего и комплексного изучения активных разломов приобретает еще один весьма важный аспект. Выявление сверхдальнодействия аномалий и длительности упреждений, во всяком случае при крупных сейсмических событиях, делает мониторинг активных разломов перспективной и актуальной задачей совместных усилий геологов, геофизиков, сейсмологов.

Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы и средства изучения. Материалы XII Международной конференции. Т.П. Воронеж, 2006. С.17—20.

Геофизика. Метеорология

Атмосферная обсерватория в Тикси

В конце ноября 2006 г. вступила в строй первая в России арктическая атмосферная обсерватория нового поколения: так в ходе подготовки к Международному полярному году (2007—2008) был успешно реализован совместный российско-американский проект, предусматривающий включение Атмосферной обсерватории в Тикси в международную сеть базовых станций по комплексному исследованию климатической системы Арктики. Проектом прежде всего намечалась организация изучения атмосферных, радиационных и гидрологических процессов, деградации вечной мерзлоты и береговой эрозии, регулярного наблюдения за турбулентными потоками у поверхности Земли, а также за аэрозольной и химической компонентами полярной атмосферы.

Решение создать первую российскую арктическую обсерваторию нового поколения именно в Тикси неслучайно. Старая метеостанция была основана здесь в 1932 г. в ходе 2-го Международного полярного года. За прошедшие десятилетия там получен один из самых длинных в Арктике непрерывный ряд данных зондирования атмосферы. В 1951 г. неподалеку была оборудована геофизическая обсерватория для регулярных наблюдений за характеристиками верхней атмосферы; в 1996 г. здесь же разместили японскую автоматическую метеостанцию, входившую в состав азиатской сети.

Каковы же теперь перспективы старой метеостанции? Морально устаревшие методы наблюдений будут заменены на новую полуавтоматическую модульную станцию международного класса, а старое помещение станут использовать для хозяйственных нужд. Построят дополнительный павильон для размещения самой современной регистрирующей аппаратуры, в том числе пробоотборников для анализа химического и аэрозольного состава воздуха, радиационного

баланса подстилающей поверхности. При этом главное условие для выбора места строительства — отсутствие возможных локальных источников загрязнений воздуха, а тундра близ пос.Тикси вполне для этого подходит. Чтобы обеспечить непрерывность измерений, модульную станцию разместят вблизи действующей метеоплощадки; все проводимые по старому и новому методам измерения (как-то: температура и влажность воздуха, продолжительность солнечного сияния, дальность видимости, интенсивность осадков, скорость и направление ветра, атмосферное давление, температура поверхности почвы, высота снежного покрова, гидростатический уровень моря) будут в течение года осуществляться параллельно, чтобы иметь возможность сравнивать данные. В задачи Атмосферной обсерватории войдут комплексные наблюдения за характеристиками облачности и приходящей радиацией, аэрозольным и химическим составом воздуха, процессами энергообмена между подстилающей поверхностью и атмосферой.

Помимо трех лабораторных помещений, в здании обсерватории имеются две жилые комнаты на четырех человек, бытовой блок с кухней, санузелом и душем, холодный склад. В обсерватории на вахтовой основе (продолжительностью 1—6 недель, в зависимости от погоды) будут работать 2—4 научных сотрудника, постоянное проживание — в пос.Тикси, расположенном в 7 км. Для передачи данных используется круглосуточный цифровой канал спутниковой связи с Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом в Санкт-Петербурге с последующей передачей информации в США по высокоскоростному интернету.

Совмещение различных сетей наблюдений приведет к созданию в Тикси базового научного пункта Российской Арктики. Новая обсерватория станет важной составной частью международной сети, которая включает аналогичные полярные станции на Аляске (США), в Канаде, Гренландии (Да-

ния), на Шпицбергене (Норвегия), в Финляндии и Швеции.

© **Бурлаков Ю.К.**,
вице-президент Ассоциации
полярников
Москва

Организация науки

Доступ к «основам основ» физики открыт

Королевское научное общество Великобритании впервые за свою историю открыло доступ к основам основ физики. Теперь в Интернете можно посмотреть электронный архив¹ научных статей с 1665 г. — времени выхода первого в мире рецензируемого научного журнала «Philosophical Transaction». В первом номере этого издания Р.Бойль описал свои эксперименты в статье «Экспериментальная история холода», а несколькими годами позже (1671/1672. №6) И.Ньютон рассказал об изобретении зеркального телескопа.

Остается надеяться, что такому примеру последуют и наши научные архивы, в которых можно найти немало интересного². Не зря ведь бывший заместитель главного редактора «ЖЭТФа» К.А.Кикоин назвал середину прошлого столетия «серебряным веком» российской науки, имея в виду достижения в физических науках, не в последнюю очередь связанные с мощной поддержкой государством прикладных исследований в интересах оборонной промышленности. По мнению Кикоина, «листать выпуски «ЖЭТФа» 50—70-х годов для понимающего человека все равно, что просматривать подшивки «Мира искусства» или «Золотого руна» для любителя живописи и графики начала века»: в этом научном издании опубликовано «несколько статей, радикально изменивших status quo в физике плазмы или твердого тела». Сейчас, к сожалению, не только к архивам, но и к текущим выпускам журнала доступа нет.

http://perst.issph.kiae.ru/Inform/perst/6_18/index.htm

¹ <http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/index.cfm?page=1373>

² См.: Природа. 2007. №1. С.80—91.

Рецензии Бумеранг судьбы Олега Гребенщикова

Б.М.Миркин,

доктор биологических наук

Уфа

Член-корреспондент РАН Г.С.Розенберг

Тольятти

Ровно 30 лет назад, весной 1976 г., рецензенты выступили с докладами в Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова на заседании секции биогеоценологии Московского общества испытателей природы. Секцию возглавлял заведующий кафедрой геоботаники МГУ профессор Т.А.Работнов, признанный авторитет в советской фитоценологии 1960—1980-х годов и хорошо известный за рубежом. Возглавляемая им секция работала очень активно, и на ее заседания собирался весь цвет московской ботаники. В этот вечер среди тех, кто пришел послушать наши доклады, был и Олег Сергеевич Гребенщиков. Мы знали о том, что он — сын эмигрантов, репатриировавшийся в Советский Союз, полиглот, знающий едва не все европейские языки (в том числе несколько славянских), который много лет работал редактором «Реферативного журнала». Его уникальный по широте охвата терминов четырехязычный «Геоботанический словарь» лежал на столе практически у каждого геоботаника.

Знали мы и о том, что Олег Сергеевич — единственный советский геоботаник, владеющий методом классификации растительности по Браун—Бланке. Метод, который использовали в Европе, Японии и других странах, в 1930-е годы у нас был объявлен «буржуазным». Однако

в конце 1970-х годов к этому методу стали проявлять интерес и советские геоботаники (особенно молодежь), которые все яснее понимали, что и для растительных сообществ необходима единая международная классификацией, подобная системе видов К.Линнея. И такой классификаций должна стать система Браун—Бланке. Но, как оказалось, мы знали об Олеге Сергеевиче далеко не все...

После окончания заседания докладчики, Гребенщиков и еще несколько других участников семинара были приглашены в гости к Работнову, в семье которого чтили традиции русского хлебопечения. За столом атмосфера была раскованной, и говорили обо всем, в том числе об опере. И вдруг Олег Сергеевич сказал: «А знаете ли вы, что передо мной на коленях стоял Шаляпин?». Далее последовал рассказ об этом удивительном эпизоде биографии Гребенщикова.

В период студенчества, чтобы добыть средства к жизни, он поступил в миманс Народного театра Белграда. Во время гастролей Шаляпина в Белграде великий бас исполнял свою коронную партию Бориса Годунова. Он обратился к директору с просьбой «дать ему Патриарха, чтобы у него был вид». Директор показал на Гребенщикова, и Шаляпин, увидев почти двухметрового стройного артиста, сказал: «Этот подойдет». Годунов-Шаляпин встал перед Патриархом-Гребенщиковым на колени, и тот венчал его на царство короной.



ЖИЗНЬ И ПРИКЛЮЧЕНИЯ ГЕОБОТАНИКА, ХУДОЖНИКА, КОМПОЗИТОРА, ПОЭТА — ОЛЕГА СЕРГЕЕВИЧА ГРЕБЕНЩИКОВА (1905—1980). Ред. сост.: Е.А.Белонская, А.А.Тишков.

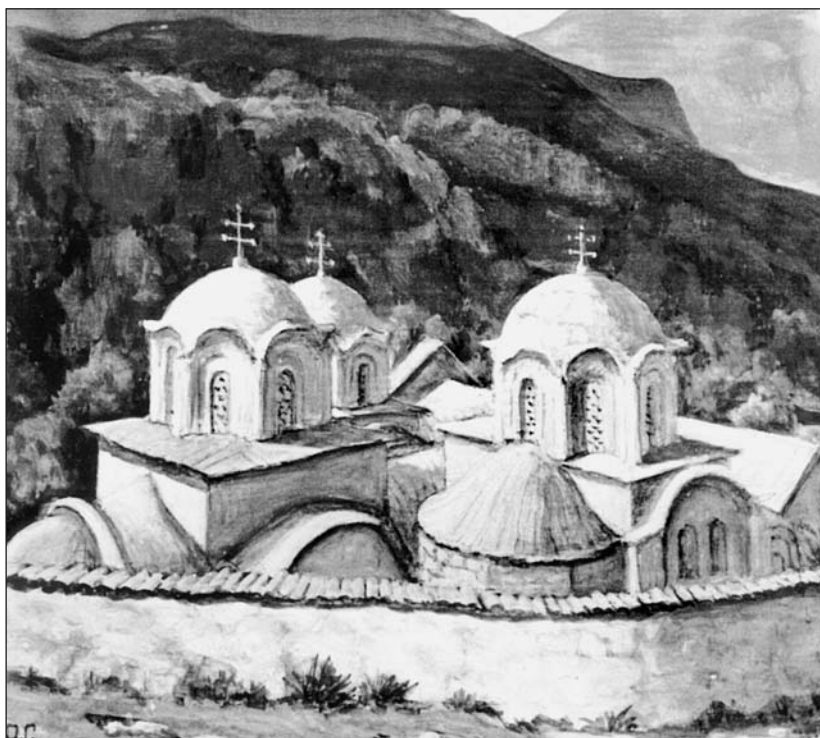
М.: *Институт географии РАН, НИА-Природа*, 2006. 118 с.

Мы узнали о том, что, кроме всего прочего, Гребенщиков — член Союза советских композиторов и художник. Нам была показана целая серия его превосходных пейзажей-акварелей. После этой памятной встречи мы с Олегом Сергеевичем больше не виделись, а спустя четыре года он тяжело заболел и внезапно умер.

Сборник материалов о Гребенщикове, который подготовлен в Институте географии РАН, позволяет представить всю многогранную индивидуальность этого удивительного человека, который был, кроме всего прочего, как пишут составители сборника, еще и «...очаровательным, обходительным и интеллигентным человеком». Название сборника «Жизнь и приключения...» как нельзя лучше соответствует истории жизни главного героя, которая была подобна бурангу. Потомственный дворянин (у Гребенщиковых был герб, дарованный императрицей Елизаветой Петровной в 1751 г.), сын генерала, после революции он оказывается в эмиграции, но затем возвращается на родину. Как пишут составители сборника в «Предисловии», русские эмигранты «...оставались патриотами до конца своей жизни, и несмотря ни на что сумели сохранить и воспитать в детях беззаветную любовь в Родине» (с. 4).

В книге использованы материалы из архива семьи Гребенщиковых, а также архивов лаборатории биогеографии и Института географии РАН. Ее подготовке помогла семья Олега Сергеевича — жена Галина Алексеевна Дьякова и дочери — Дарья и Марина.

Книга состоит из пяти частей, названия которых раскрывают нестандартную личность Гребенщикова: «Жизнь и приключения», «Жизнь в науке», «Ученый и композитор», «Ученый и художник», «Ученый, писатель и поэт». Сюда вошли некоторые рукописи и опубликованные работы самого Гребен-



Афонский монастырь (Греция). Гуашь.

щикова, статьи о нем и личные письма. При этом некоторые статьи разбиты на части, помещенные в разных разделах. Так, один отрывок статьи К.О.Короткова, Е.А.Белоновской и А.А.Тишкова «Олег Сергеевич Гребенщиков (к столетию со дня рождения)» помещен в первой части, другой — во второй, а отрывки из некролога, написанного Г.М.Проскуряковой, включены во вторую, третью и четвертую части книги.

Стержнем книги является большая статья самого Гребенщикова «Краткая летопись моей жизни» («Конспект» — по годам, начато зимой 1972/1973 г.), которая, несмотря на стиль изложения «крупным мазком», дает достаточно полное представление о сложнейших перипетиях его жизни.

Первый, санкт-петербургский этап (до 15 лет) был в основном благополучным. Мальчик жил в «казенной квартире Штаба Петербургского военного округа» («Чудесная квартира

с высокими комнатами <...> и окнами на Певческий мост и Дворцовую площадь»). Летом поездки в усадьбу «Высокое» к тете Оле Маклашевской («идеальный помещичий дом, чудные конюшни и все виды «выездов» и колясок»). Путешествия в Австрию, Германию, Швейцарию и Италию. Ситуация стала меняться к худшему, когда Гребенщикову исполнилось девять лет: началась Первая мировая война, отец ушел на фронт. Спустя три года Петроград потрясла Февральская революция («На улицах толпы, кричащие, ликующие, проклиняющие, беспокойные <...> Стало голодно»). В 1919 г. ситуация еще более ухудшилась, и семья переехала под Сумы («приходы то белых, то красных», красные «сперли коллекцию старинных монет»).

Второй этап — эмиграция. В 1920 г., когда Олегу было 15 лет, отец принял решение покинуть Россию («Я присягал служить Царю — ни красным, ни белым служить не буду»).



Светлый день (Карелия). Гуашь. 1971 г.

Теплушка, а затем отправляющийся в Турцию из Новороссийска пароход «Габсбург». Семья ехала в трюме: «Прощай, родина, на море мертвая зыбь...». Колличество насекомых, которые расплодились у людей, было столь велико, что прежде чем судно было принято в Стамбуле, всех пассажиров отправили на остров в Мраморном море для дезинсекции. Русских беженцев великодушно принял под свою защиту «король сербов, хорватов и словенцев» Александр. В столице Сербии (а потом Югославии) Белграде Олег Сергеевич провел 30 лет. Он закончил лесной сельскохозяйственный факультет Белградского университета. На собственные скудные средства сумел объехать почти все Балканы и собрал уникальный гербарий в 8 тыс. листов.

В период оккупации Гребенщиков становится членом подпольной организации народного освобождения. В 1944 г. с приходом Советской Армии во время боев за Белград он работал проводником, переводчиком, чертежником. В 1947 г., наконец, получил место хранителя гербария в музее и научного сотрудника в Институте биоло-

гии и географии Сербской академии наук, а вскоре стал читать лекции в Белградском университете.

В том же 1947 г. Олег Сергеевич восстановлен в гражданстве СССР, однако в 1950 г. происходит конфликт между Сталиным и Тито, начинается гонение на лиц, получивших советское гражданство. Многие друзья Гребенщикова оказываются в тюрьмах, и он с семьей буквально бежит в Чехословакию. Там быстро занимает положение одного из ведущих ученых — становится директором лаборатории геоботаники и систематики растений Словацкой академии наук. В 1956 г. с помощью академика В.Н.Сукачева Гребенщиков репатрируется в СССР.

Третий этап — жизнь на родине. Несмотря на поддержку друзей, Олег Сергеевич начинает свою карьеру практически с нуля. Он получает должность младшего научного сотрудника отдела биологии Всесоюзного института научно-технической информации (это после поста директора!). В 1957 г. в Братиславе Олег Сергеевич защищает кандидатскую диссертацию (она была написана на словац-

ком языке), и его повышают в должности до старшего научного сотрудника. Гребенщиков буквально «купается» в богатой музыкальной жизни столицы и посещает концерты в различных залах (особенно он любил Большой зал консерватории им.П.И.Чайковского). При поддержке Д.Б.Кабалевского Олег Сергеевич был принят в члены Союза советских композиторов (единственное исключение, когда к этому высокому собранию был причислен композитор-любитель). Вот как об этом пишет он сам в «Краткой автобиографии О.С.Гребенщикова (как композитора-музыканта)»: «Став же членом Союза и Музфонда, я получил не только глубокое удовлетворение и как бы бесценную награду за мои скромные труды, но и помощь в трудные дни еще неустроенной жизни в Советском Союзе в качестве предоставления мне инструмента на дому и совершенно идеальной обстановки для творчества в изредка используемых Домах Творчества в Рузье, Репине, Сортавале, Иванове, Ворзеле, Дилижане...» (с.73).

В 1966 г. Олег Сергеевич переходит в Институт географии, в стенах которого прошли 10 наиболее плодотворных лет его научной жизни. Он получает возможность путешествовать по многим районам СССР, знакомиться с их растительностью. В 1970 г. на Ученом совете Института географии АН СССР Гребенщиков блестяще защищает докторскую диссертацию. В качестве оппонентов выступили: геоботаники — академик Е.М.Лавренко и В.Д.Александрова, автор знаменитой в те годы монографии «Классификация растительности» (1969), в которой много внимания было уделено методу Браун—Бланке, и географ Е.М.Мурзаев.

Круг научных интересов Гребенщикова был очень широк и включал систематику растений, флористику, энтомологию (он опубликовал несколько работ о прямокрылых, состоял

в переписке с Б.П.Уваровым), однако его основные труды связаны с геоботаникой. Олег Сергеевич был большим знатоком растительности гор Средиземноморья (Балкан, Кавказа, Крыма) и заложил основы нового направления в геоботанике — исследования «клима-экологических ареалов экосистем» (точнее — биомов). Анализ связи с климатом высших единиц растительности Балкан лег в основу его докторской диссертации.

Попытки Гребенщикова распространить систему Браун—Бланке в России, к сожалению, успеха не имели. Деликатный и осторожный, он столкнулся с «глухой стеной непонимания», преодолеть которую не пытался. Изложение основ метода Браун—Бланке вызвало самую негативную реакцию ведущих ботаников старшего поколения (исключая Работнова, который симпатизировал методу Браун—Бланке). Один из наиболее именитых ботаников, навалившись тучным телом на трибуну, риторически воскликнул: «Неужели то, с чем мы боролись еще в 30-х годах, все-таки пришло в нашу страну». Однако семена, которые посеял Гребенщиков, не пропали и дали обильные всходы, но уже после его смерти, только в 1980—1990-е годы. Сегодня метод Браун—Бланке является для российских геоботаников основным и помогает их международному сотрудничеству. В Санкт-Петербурге выходит журнал «Растительность России», в котором публикуются работы российских сторонников этого метода.

Наука и искусство у Гребенщикова были сплавлены воеди-

но. Его достижения как артиста, композитора и художника просто ошеломляют. Артистическая биография началась со «статирования» — он участвовал в «массовке» десяти опер — был Солдатом в «Бал-маскараде» Дж.Верди и Нищим в «Сельской чести» П.Масканы. Врожденный артистизм, пластика и прекрасные внешние данные быстро выдвинули Гребенщикова в число ведущих артистов миманса, он исполнил почти 80 ролей в балетах и операх. Кроме того, он был ассистентом режиссера (в балете) и администратором театра. Фотографии, которые приведены в книге, представляют Олега Сергеевича в самых разных ролях (в том числе Дон-Кихота в одноименном балете Л.Минкуса и Кошечья Бессмертного в «Жар-птице» И.Стравинского) и иллюстрируют его способность к перевоплощению.

Профессионального музыкального образования у Гребенщикова не было (уже работая в театре, он брал уроки гармонии у И.Персиани, П.Стояновича, Й.Бадура). Тем не менее на поприще композиторского искусства он достиг немалых успехов: его произведения исполнялись в концертах и по белградскому радио, некоторые из них даже были опубликованы в СССР. Общее число созданных Гребенщико-вым музыкальных произведений приближается к 50, причем большая их часть — это музыка к балетным номерам. Как пишет Г.М.Проскурякова, в советский период творчества Олег Сергеевич считал главной целью познакомить советского слушателя с музы-

кальным фольклором балканских народов.

Основные картины и этюды Гребенщикова были посвящены природе Балкан и Кавказа и памятникам старой архитектуры, что отражало круг его интересов (в книге помещено 70 репродукций картин и рисунков, к сожалению, в черно-белом воспроизведении). Что касается стихов Гребенщикова, которые помещены в книгу, то они не производят особого впечатления: это обычные «домашние вирши», которые пишутся по случаю различных юбилеев и праздников (вряд ли вообще стоило включать их в книгу). Зато прекрасно воспринимаются очерки Гребенщикова, особенно «У трона Зевса» об экскурсии в горы Олимп (из серии очерков «По горам и морям Эллады»). В этом очерке органично сплавлены яркие описания природы, точная характеристика мира растений и животных, история этого уникального, овеянного легендами греческой мифологии района, полная юмора хроника сложнейшего пешеходного маршрута.

В заключение остается поблагодарить А.А.Тишкова и Е.А.Белоновскую за прекрасную книгу, которая доставила много радости тем, кто знал Гребенщикова, и познакомила с этим уникальным человеком широкую аудиторию читателей, которые были лишены этой возможности. Жаль, что тираж книги невелик (300 экз.), однако все те, кто ей заинтересуются, смогут познакомиться со сборником хотя бы в библиотеках. Наша рецензия — это приглашение к чтению. ■

Физика

А.И.Морозов. ВВЕДЕНИЕ В ПЛАЗМОДИНАМИКУ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 576 с.

В настоящее время хорошо осознана та огромная роль, которую играет плазма в природе. Наряду с этим быстро растет применение плазмы в самых различных областях человеческой деятельности. Не вызывает сомнений, что XXI век будет не только веком информатики, биологии и космонавтики, но и веком плазменных технологий. Они дадут новые источники энергии (управляемый термоядерный синтез), методы ее прямого преобразования (МГД-генераторы и плазменные термоэлементы), эффективные ионно-плазменные средства обработки материалов (как в микроэлектронике, так и в тяжелом машиностроении), всеволновые источники электромагнитных излучений (в том числе «вечные» бытовые светильники с регулируемым спектром и плазменные телевизоры с неограниченным по площади тонким экраном), космические плазменные двигатели и т.д. Параллельно с развитием плазменных технологий идут интенсивные экспериментальные и теоретические исследования плазменного состояния вещества и скрытых в нем возможностей.

В книге представлена иерархия «газовых» моделей классической неплотной плазмы. В рамках этих моделей рассматриваются основные плазменные системы и их практическая реализация: равновесные конфигурации, линейные и ударные волны, стационарные течения, элементы плазмохимии и принципы плазменных лазеров. Дано описание ряда космических объектов: планетарных вихрей, магнитосферы Земли, Солнца.

За работы по созданию космических стационарных плаз-

менных двигателей А.И.Морозов, единственный из российских ученых, награжден медалью Общества электрических реактивных двигателей.

Биология

С.Г.Мамонтов, В.Б.Захаров, Т.А.Козлова. БИОЛОГИЯ:

Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2006. 576 с.

Цель этого учебника — дать представление о структуре живой материи, наиболее общих ее законах, познакомить с многообразием жизни и историей ее развития на Земле. В соответствии с этим материал книги разделен на две части: описание явлений и закономерностей, свойственных всему живому; характеристика четырех царств живой природы (бактерий, грибов, растений и животных). Особое внимание уделено анализу взаимоотношений между организмами и условиями устойчивости экологических систем.

Круг вопросов, рассматривающихся в плане обучения студентов высших учебных заведений по специальностям «География» и «Экология», довольно широк. Однако многообразие жизни столь велико, что одни ее явления мы только начинаем понимать, а другие еще ждут изучения. В учебнике затронуты лишь самые важные вопросы организации живых систем, их функционирования и развития. Из-за ограниченности объема в книгу не вошел раздел по биологии человека. Ввиду уникальности самого человека как биологического вида и социального существа и вследствие выхода его на совершенно новый уровень организации требуется специальное рассмотрение этого вопроса. Вместе с тем в учебнике приводятся примеры, характеризующие подчиненность че-

ловека всем известным биологическим законам.

Палеонтология

ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ И БИОРАЗНООБРАЗИЯ.

Отв. ред. С.В.Рожнов. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. 600 с.

Сборник посвящен 70-летию директора Палеонтологического института РАН, члена-корреспондента, профессора А.Ю.Розанова. Он состоит из 39 статей по таким дисциплинам, как планетология, микробиология, эволюционная теория, бактериальная палеонтология, эволюционная морфология, палеоэкология, палеогеография, биостратиграфия, литология. Представленные статьи довольно разнообразны по тематике. Для удобства, но отнюдь не по значимости, все они объединены в пять разделов: «Современная палеонтология: теория и методология», «Бактериальная палеонтология», «Эволюционная морфология», «Палеоэкология и эволюция сообществ» и «Проблемы стратиграфии и палеобиогеографии».

Авторы статей каждого из разделов могли бы поспорить с остальными, что именно в их тематику вклад юбиляра наиболее значителен, но, зная Алексея Юрьевича, можно быть уверенным, что он не остановится на достигнутом и каждое из упомянутых направлений вскоре обогатится чем-то новым, одновременно важным и интересным.

Таким образом, сборник вносит существенный вклад в разработку программ Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы» и «Биоразнообразии и динамика генотипов», а также в программу Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России: фундаментальные основы рационального использования».

Скалы Восьмого марта, или Женские имена на карте Антарктики

М.А.Преображенская,
Л.М.Саватюгин,

доктор географических наук
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
Санкт-Петербург

Суров ледяной континент. Его снежные безжизненные пустыни, высокогорные плато, величественные горные вершины, казалось бы, гармонируют только с именами мужественных первооткрывателей, которые упорно и отважно шли навстречу ледяным ветрам, спали в промерзших палатках, откладывая назавтра последний сухарь, и достигали своей цели. Карта Антарктики сохранила нам имена отважных мореплавателей, капитанов судов, полярных летчиков, исследователей ледяного континента и окружающих его морей.

Однако среди этой россыпи «мужских» географических наименований мы нет-нет, да и замечаем нежно звучащие женские имена: Эмма, Марион, Сесиль, Бетти... Их не так уж и много, наверно, не больше сотни. Но площадь названных в честь женщин земель, берегов и ледников составляет почти половину всей территории ледяного континента.

Многие из географических объектов носят имена королевы Виктории. Английская экспедиция в Антарктиду под командой полярного исследователя Дж.К.Росса на судах «Эребус» и «Террор», преодолев полосу сплоченных льдов, в январе 1841 г. подошла к берегу горис-

той страны, которую Росс принял за большой остров и назвал в честь своей королевы. Позднее было установлено, что это вовсе не остров, а одна из обширных земель южно-полярного материка — Земля Виктории.

Властный волевой характер и амбиции королевы Виктории, правившей в течение 64 лет (этот отрезок времени — 1837—1901 гг. — известен в истории как викторианская эпоха), во многом определили облик Великобритании в XIX в. Имея самый большой флот с самым современным вооружением, она расширила свои колониальные владения по всему миру, собрав под короной 40 стран. Немудрено, что на карту Антарктиды попало не только имя королевы, но и ее мужа — принца Саксен-Кобургского Альберта, после смерти которого она носила траур до самого конца жизни. Горы Принс-Альберт на побережье Земли Виктории также открыты Россом. (Кстати сказать, знаменитый Р.Скотт одну из вершин этих гор назвал в честь Ф.Ф.Беллинсгаузена — руководителя Первой русской антарктической экспедиции. Это, по видимому, было первым признанием иностранцами заслуг русских исследователей Антарктики.) На побережье Земли Виктории в течение 20 лет (1971—1991) работала советская станция Ленинградская, материалы научных наблюдений которой

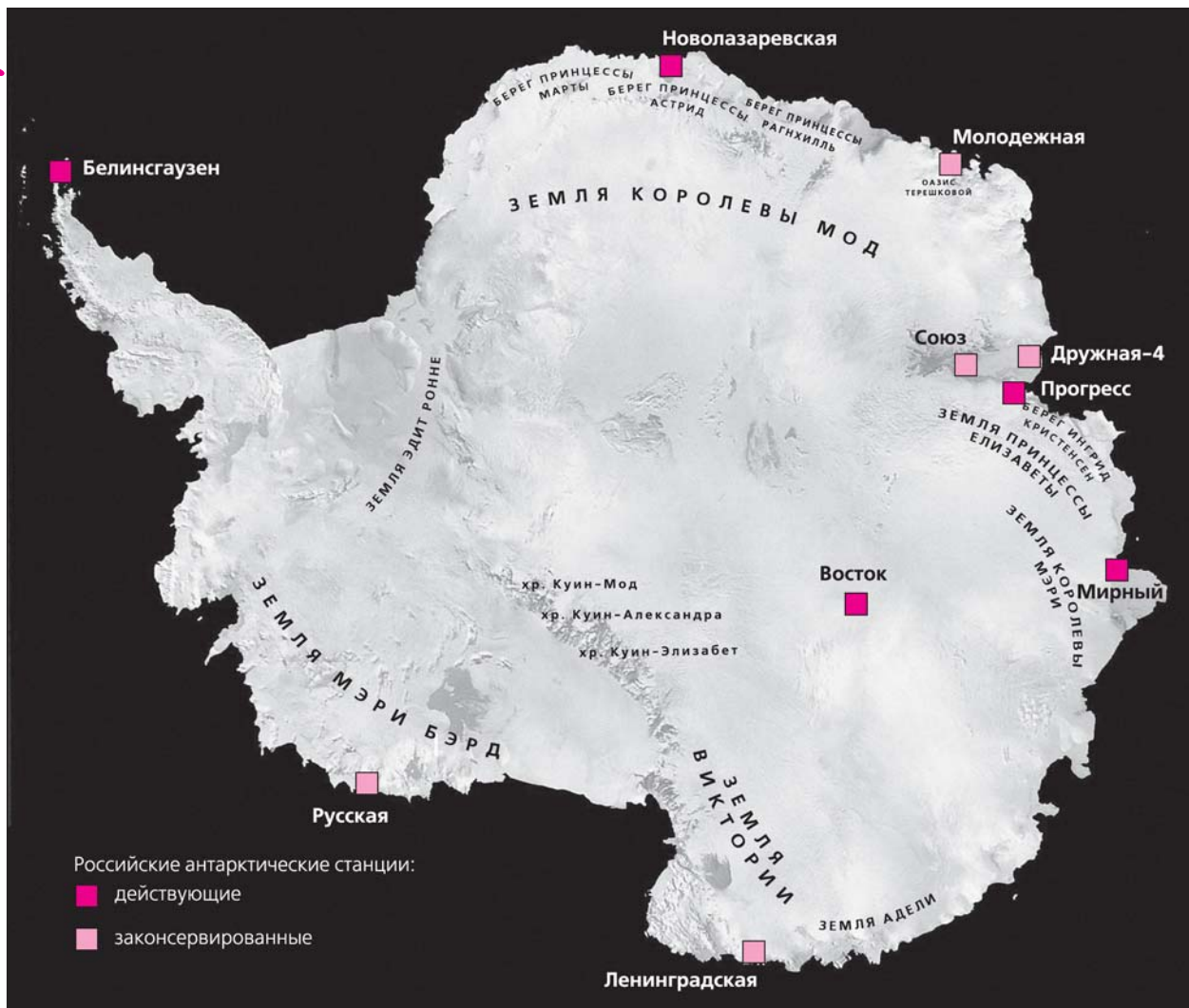
значительно дополнили сведения об этом районе.

На карте Антарктики запечатлены почти все имена королевского дома Великобритании. В честь королей названы: п-ов Эдуарда VII на побережье моря Росса, Берг Георга V на побережье Земли Виктории, залив Эдуарда VIII в море Содружества, шельфовый ледник Георга VI, отделяющий Антарктический п-ов от открытой Первой русской антарктической экспедицией Земли Александра I в Западной Антарктиде.



Королева Виктория, в честь которой полярным исследователем Дж.К.Россом названа обширная земля в Восточной Антарктиде.

© Преображенская М.А.,
Саватюгин Л.М., 2007



На космическом снимке Антарктиды подписаны крупные географические объекты, носящие женские имена, а также показаны местонахождения российских антарктических станций.

Появление еще двух обширных земель, носящих имена английских королей, связано с экспедициями, которые возглавлял известный австралийский полярный исследователь Д.Моусон. В 1911 г. ими был открыт участок побережья Восточной Антарктиды, названный в честь жены короля Георга V Землей Королевы Мэри, которой стала английская принцесса Виктория Мария Текская.

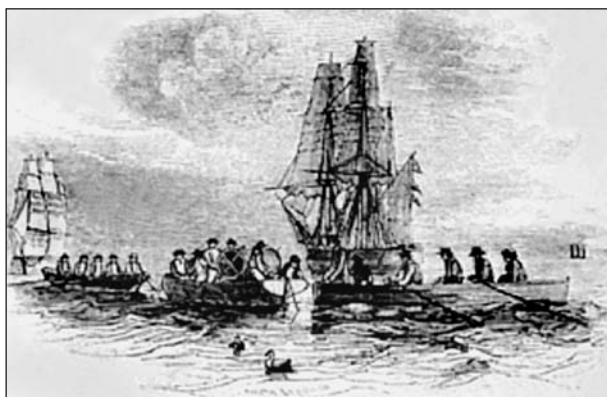
Именно к берегам этой земли 4 января 1956 г. подошло судно Первой советской антарктической экспедиции — дизель-электрорход «Обь». Здесь 13 фев-

раля была открыта главная база экспедиции — обсерватория Мирный. Часть побережья Земли Королевы Мэри, обследованного советскими полярниками в 1956—1960 гг., была названа Берегом Правды.

Во второй экспедиции под руководством Моусона на судне «Дискавери» (1929—1931), носившей название Британско-Австралийско-Новозеландской, тоже изучалась часть Восточной Антарктиды, и с борта самолета на $66^{\circ}30'ю.ш.$, $76^{\circ}в.д.$ была открыта большая горная страна, названная в честь дочери короля Георга VI Землей Принцессы

Елизаветы. В ту пору у нее было мало шансов занять английский престол, и тем не менее в 1952 г. принцесса стала королевой Великобритании — Елизаветой II, правящей до сих пор.

Кстати, к западу от обширной Земли Принцессы Елизаветы простирается одна из крупнейших горных систем Антарктиды — горы Принс-Чарльз, открытые в сезон 1954—1955 гг. и названные в честь сына Елизаветы II, принца Чарльза, частная жизнь которого в последние годы часто обсуждается в прессе и на телевидении. Этот район в течение многих лет служил



На судах «Эребус» и «Террор» (слева) английская экспедиция под командой Дж.К.Росса в 1841 г. подошла к берегам гористой страны. Две ее вершины получили впоследствии названия Эребус и Террор (справа).

местом советских крупномасштабных геолого-геофизических исследований, и здесь были обнаружены целый список полезных ископаемых: каменный уголь, алмазы, железо, марганец, медь, никель, кобальт, титан и ванадий.

Многие земли и берега Восточной Антарктиды носят норвежские названия, прежде всего стараниями китобоев, которые, разведывая новые районы своего промысла, попутно проводили метеорологические и океанографические наблюдения, а также обследовали неизвестные острова и берега. Большинство судов принадлежало Л.Кристенсену, получившему от норвежского правительства звание норвежского консула в Антарктике. Им в 1929 г. была подготовлена экспедиция в атлантическую часть Южного океана на судне «Норвегия», которую возглавил летчик Я.Рисер-Ларсен. Во время полетов на гидроплане была усмотрена обширная земля, раскинувшаяся к востоку и западу от нулевого меридиана, которая была названа именем норвежской королевы Мод, дочери английского короля Эдуарда VII. Во время этой и последующей экспедиций на карту были положены берега Земли Королевы Мод, носящие звучные имена норвежских принцев Улафа и Харальда, принцесс Рагнхильд, Астрид, Марты.

На Земле Королевы Мод в течение многих лет вели исследования российские полярники. Здесь на прибрежном шельфовом леднике с 1959 по 1961 г. работала сезонная станция Лазарев. По результатам детальной геологической аэрофото- и аэромагнитной съемки гор на этой станции составлена подробная геологическая карта района масштаба 1:1 000 000. Вдали от берега были открыты горы — Русские, Гагарина, Титова, горные хребты Заварицкого, Бардина и др. Станция Лазарев была закрыта в связи с опасениями, связанными с возможностью разлома шельфового ледника. Взамен ей в некотором отдалении от берега с 1961 г. заработала станция Новолазаревская. В результате выполненных здесь исследований Земля Королевы Мод стала наиболее изученным районом Антарктиды.

Женских имен удостоились и горы. Вспоминая о величественных Трансантарктических горах, отделяющих Западную Антарктиду от Восточной, знаменитый норвежец Р.Амундсен отмечал, что никогда в жизни не видел более прекрасного и более дикого ландшафта [1]. Во время экспедиции 1911 г. часть этих гор он назвал горами Куин-Мод в честь норвежской королевы. Еще раньше выдающийся английский полярный исследователь Э.Шеклтон одно-



Королева Мэри. В 1911 г. ее именем был назван участок побережья Восточной Антарктиды, открытый экспедицией австралийского исследователя Д.Моусона.

му из хребтов этой горной цепи дал имя королевы английской Александры — жены Эдуарда VII, датской принцессы (как и ее сестра, жена русского императора Александра III, Мария Федоровна). Неподдалеку от хребта Куин-Александра на карте можно найти хребет Куин-Элизабет, обследованный новозеландцами в 1956—1958 гг.



Норвежская королева Мод, имя которой носит часть территории Восточной Антарктиды.

и названный в честь патрона экспедиции — английской королевы Елизаветы II.

Имя королевы Александры получили также невысокие горы на севере п-ова Эдуарда VII (Земля Мэри Бэрд), открытые в 1902 г. во время исследовательского рейса трехмачтового моторно-парусного судна «Дискавери» вдоль берега шельфового ледника Росса. Этот рейс был частью первой английской экспедиции под руководством Р.Скотта, продолжавшейся три года и занявшей по важности выполненных исследований одно из первых мест в истории изучения Антарктиды.

Однако значительная часть географических объектов, которым были присвоены женские имена, названа не в честь принцесс и королев, а в честь самых обычных женщин, терпеливо ждавших полярников дома, — матерей, жен, сестер и дочерей.

Огромную территорию Западной Антарктиды занимает Земля Мэри Бэрд, часть которой открыта в 1929 г. во время экспедиции известного американского полярного исследователя

и адмирала — Р.Бэрда. Вот его слова по этому поводу: «Новой земле я присвоил имя Земли Мэри Бэрд в честь своей жены, моего неизменного помощника и друга, своей чуткостью и пониманием облегчившей мне мои многочисленные скитания, и на чьи плечи легла немалая доля трудностей нашей экспедиции» [2].

На мысе Бэркс побережья Земли Мэри Бэрд в течение десяти лет (1980—1990) работала советская станция Русская. На огромном расстоянии от побережья моря Росса до Антарктического п-ова она была единственной действующей научной станцией, поэтому так ценны выполненные здесь наблюдения.

В Восточной Антарктиде, на побережье моря Д'Юрвиля, расположена Земля Адели. Так звали жену руководителя французской антарктической экспедиции 1838—1840 гг. Ж.Дюмонд'Юрвиля. Земля была усмотрена с корвета «Астролябия» в конце января 1840 г, сам мореплаватель впоследствии писал: «Это имя должно увековечить глубокое уважение к преданной спутнице жизни, которая трижды соглашалась на длительную и тяжкую разлуку и позволила выполнить до конца мои планы исследований в дальних краях» [3]. Высадившись на прибрежные скалы, французы провели первые на ледяном континенте геологические исследования, собрали коллекции местных гранитов и гнейсов, а также мхов и лишайников, наблюдали за пингвинами, отличавшимися малым ростом. Они были описаны как вид, открытый Дюмонд'Юрвилем, и названы пингвинами адели. К западу от Земли Адели появился Берег Клари — в честь жены капитана второго судна французской экспедиции — корвета «Зеле» Ш.Жакино.

Жизнь известного французского исследователя и его жены оборвалась трагически. Дюмонд'Юрвилю было около 50 лет, когда он, возвратившись из экс-

педиции, в мае 1842 г., отправился с женой и сыном Жюлем из Парижа в приятную прогулку — полюбоваться фонтанами Версаля. Все трое погибли во время железнодорожной катастрофы.

В летний сезон 1934/35 г. с норвежского танкера «Торсхавн» был увиден неизвестный до тех пор берег, которому капитан судна К. Миккельсен дал имя жены своего хозяина Ларса Кристенсена — Ингрид Кристенсен, а одну из гор на этом берегу капитан назвал именем собственной жены — гора Каролине-Миккельсен. В 1957 г. австралийцы открыли на этом берегу станцию Дейвис. Позже интенсивные геолого-геофизические исследования в этом районе стали проводить российские полярники, поскольку на Берегу Ингрид Кристенсен были открыты полевая база Дружная-4 и первая в Антарктиде зимовочная геологическая станция Прогресс.

Ингрид Кристенсен захотелось увидеть «свою» землю. В сезон 1936/37 г. она вместе с мужем отправляется в Антарктику, пригласив с собой трех подруг. С «Торсхавна», находящегося у берегов, совершаются многочисленные полеты, во время которых производится аэрофото съемка вновь открытых районов. В одном из таких полетов на борту самолета была Ингрид. В качестве сюрприза для женщин обнаруженное у побережья поднятие дна Кристенсен назвал банкой Фор-Ледис («Четырех леди»), как она и значится до сих пор на навигационных картах.

Имя Ингрид мы можем найти и на противоположной стороне Антарктиды. Его носит один из мысов на западном берегу о. Петра I, открытого еще Первой русской экспедицией в море Беллинсгаузена. Мыс назван в 1927 г. капитаном норвежского китобойного судна Э.Тофтом.

Обширный район Западной Антарктиды носит имя еще одной женщины — жены известного американского полярного

исследователя Ф.Ронне. В его экспедиции 1947—1948 гг. был открыт огромный шельфовый ледник, омываемый водами моря Уэдделла, а видимой за ним на горизонте земле Ронне дал имя своей жены Эдит. Впоследствии оказалось, что ледник занимает большую часть этой земли, и он стал называться шельфовым ледником Ронне.

Эдит Ронне тоже посчастливилось увидеть Антарктиду. В 1947 г. она зимовала вместе с мужем на о.Стонингтон. Эта зимовка вызвала некоторый скандальный интерес со стороны американской прессы. Дело в том, что начальник авиационного отряда, заместитель Ронне, Дарлингтон, тоже взял на зимовку свою молодую жену. По возвращении в Америку она написала книгу «Мой антарктический медовый месяц», в которой рассказывала о всех подробностях конфликта между парами. С тех пор американские исследователи ледяного континента более двух десятилетий воздерживались от включения женщин в состав зимовочного персонала своих научных станций.

Известный французский полярный исследователь Ж.-Б.Шарко имел репутацию полярного джентльмена [4]. Она подкрепля-

лась и тем, что, называя вновь открытые географические объекты, он, пожалуй, не забыл ни одну из дорогих ему женщин. Обширный залив, вдающийся в западное побережье Антарктического п-ова, получил имя его жены Маргерит. С Мег Клери, дочерью адвоката и талантливой художницей, Шарко обвенчался в январе 1907 г., чтобы не расставаться до конца своих дней. Мадам Шарко никогда не препятствовала экспедиционным планам мужа, мало того — она сама разбила бутылку шампанского о форштевень судна «Пуркуапа?» и провела на его борту около четырех месяцев, провожая мужа во вторую антарктическую экспедицию. С грустью расстались они на пороге Антарктики, в районе Огненной Земли. Маргерит вернулась в Париж к своей маленькой дочери, а Жан-Батист отправился дальше на юг, к суровым берегам Антарктиды.

4 мая 1909 г. Шарко торжественно отметил на судне день именин дочери. Бушевала неистовая антарктическая вьюга, а в кают-компани было тепло и уютно. На столах стояли гиацинты, а в тарелках зеленел кресс-салат. Позднее в честь дочери Моника Шарко назовет гору на вновь открытом в январе 1910 г. полуострове Земли



Имя королевы Александры английский исследователь Э.Шеклтон в начале XX в. дал одному из горных хребтов Трансантарктических гор.

Александра I, самому полуострову он даст название Земля Шарко, имея в виду не столько себя, сколько своего отца — знаменитого врача-невропатолога Ж.-М.Шарко (современное название п-ов Шарко). Именем старшей, рано умершей дочери Марион исследователь назовет нунатак, расположенный рядом с горой Моника. (До недавнего времени Моника, мадам Аллар-



Судно французской экспедиции «Астролябия» под командой Дюмон-д'Юрвиля в 1840 г. приблизилось к земле, названной именем его жены Адели (ее изображение на почтовой марке).





Королева Елизавета II «попала» на карту Антарктиды еще будучи принцессой. Ее именем в 1931 г. Муусоном названа большая горная страна в Восточной Антарктиде, а позже — хребет в Трансантарктических горах.



Именем первой в мире женщины-космонавта В.В.Терешковой назван крупный оазис на Берегу Принца Улафа (Земля Королевы Мод).

Шарко, любезно встречала гостей в доме 29 по улице Сент-Джеймс в Париже, где находится музей известного полярника.) После рождения третьей дочери, Мартин, ее имя получит еще одна гора на п-ове Шарко.

Не забыл Шарко и своих сестер Марию и Жанну, назвав в честь них небольшой остров у побережья Антарктического п-ова и холм на о.Бут. Одному из

пиков о.Бут он дал имя Луиз. Так звали сестру геолога экспедиции Гурдона, который выращивал замечательные гиацинты и кресс-салат.

Часть этих названий можно найти только на крупномасштабных картах, так как на обзорных картах всего материка обозначенные ими географические объекты просто невозможно изобразить.

Таковы наименования обследованных Шеклтоном в 1908 г. гор Гровнер, которые он назвал именами жены Эмилии — дочери крупного бизнесмена, жеманница на которой значительно укрепила его финансовое положение, дочери Сесиль и сына Раймонда.

Два небольших мыса носят имя Анн. Один — на о.Коулмен у восточного побережья Земли Виктории, названный в честь жены Росса, второй — на Земле Эндерби в честь жены английского промышленника и мореплавателя Дж.Биско.

Горой Алмер (в честь своей невесты и будущей жены Мэри-Луизы Алмер) назвал в 1935 г. американский летчик Л.Элсуэрт, участник первого трансконтинентального полета от побережья моря Уэдделла к морю Росса, один из пиков горного хребта.

Немало женских имен на островах, окружающих материк. На Южных Сандвичевых — это гора Белинда (дочь английского океанографа и биолога С.Кемпа), бухта Корделия (дочь капитана судна «Дискавери-II» У.М.Карей), о.Сигни (жена норвежского капитана П.Зерля), на Южных Шетландских о-вах — острова Эмма и Луиз (мать и сестра руководителя бельгийской экспедиции Аде Жерлаша). Список «женских» названий на островах можно продолжить: бухта Джесси, мыс Мабл, ледник Грейс.

Нередко руководители экспедиций, отмечая деловые качества и преданность долгу тех или иных членов экспедиций, называли географические объекты не только в честь них са-

мих, но и в честь их жен, сестер или матерей. Так, высокий пик в горах Эдсел-Форд носит имя Грейс Мак-Кинли, жены картографа, выполнявшего аэрофотосъемку местности во время полетов американской экспедиции Р.Бэрда. В честь жены другого члена экспедиции — Р.А.Блэка, начальника станции Стоунингтон, Р.Бэрд назвал гору в хребте Куин-Мод (гора Рут).

Знаменитые исследователи не забывали и своих друзей, а также их жен и дочерей. Так, Р.Амундсен один из ледников в хребте Куин-Мод назвал именем Лив — дочери норвежского полярного исследователя Фригтофа Нансена, который так великодушно предоставил Амундсену для его антарктической экспедиции свой прославленный корабль «Фрам».

Англичанин Р.Скотт назвал вдающуюся в шельфовый ледник Росса каменистую гряду утесом Минна (Минна-Блаф) в честь жены К.Маркема, известного географа, президента Королевского географического общества, близкого друга Скотта, без которого вряд ли состоялись бы как первая, так и вторая экспедиции Скотта.

Бэрд подсчитал, во что обошлись некоторые экспедиции: «стоимость первой экспедиции капитана Скотта равнялась приблизительно 460 тыс. долл., а последней — не менее 375 тыс. долл., вторая экспедиция сэра Э.Шеклтона стоила 400 тыс. долл.» [2]. А ведь снаряжались они на частные средства. Шеклтон «обращался за содействием к богатым людям, доказывая, как только умел, всю важность предполагаемых исследований, но денег получить не мог» [5]. У него возникло даже желание бросить начатое дело, но нужные люди все же нашлись. Среди них были две женщины: Анна и Элизабет Досон-Ламтон. Естественно, что в их честь Шеклтон назвал горы в хребте Куин-Александра.

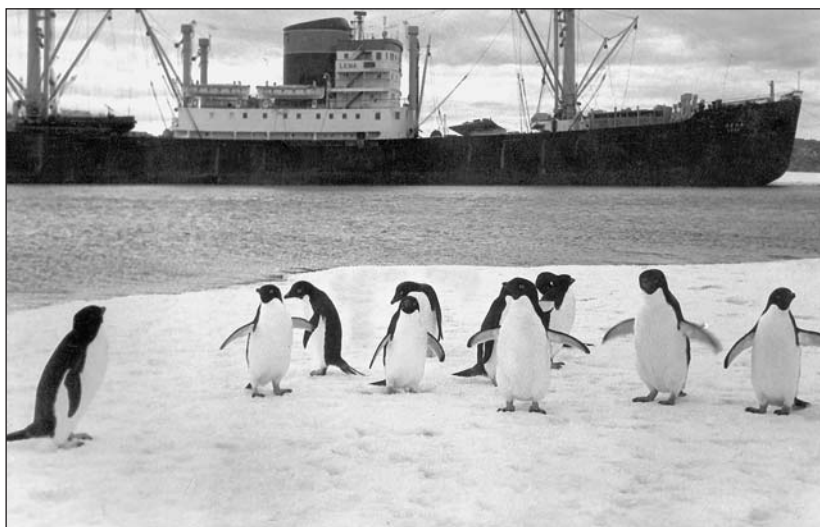
Амундсен дал двум вершинам в хребте Куин-Мод имена доче-

рей норвежского посланника в Бразилии, оказавшего финансовую поддержку его экспедиции, — Алисе-Гаде и Рут-Гаде.

Не забыли жен и дочерей патронов его экспедиций и Бэрд, и норвежский полярный исследователь К.Борхгревинк, организовавший первую научную зимовочную станцию в Антарктиде (в честь жены Дж.Ньюна он назвал залив Леди-Ньюнс).

Огромный вклад в топонимию Антарктики внесли полярники нашей страны, увековечив сотни имен отечественных исследователей, полярных летчиков, капитанов, выдающихся ученых и деятелей культуры. Однако среди них очень мало женщин. «Антарктический материк является единственным... где живут одни мужчины», — писал в свое время известный советский полярник, начальник Первой советской антарктической экспедиции М.М.Сомов [6]. Действительно, в отличие от женщин других государств, русские женщины не зимуют на научных антарктических станциях, лишь иногда принимая участие в сезонных работах. Может быть, поэтому их имена редки на карте Антарктики.

Но все же на советских картах в горном массиве Геологов на Земле Мак-Робертсона мы найдем гору Варсонофьевой, исследованную в 1972/73 г. и названную в честь доктора геолого-минералогических наук В.А.Варсонофьевой. Имя неоднократно участвовавшей в антарктических экспедициях гидрохимика В.М.Коноваловой но-



Судно Первой советской антарктической экспедиции «Обь» у берегов Земли Королевы Мэри.

сит пик в горах Пенсакола, расположенных в Западной Антарктиде. На Земле Мак-Робертсона, района многолетних советских работ, можно найти ледник, носящий имя картографа Бажеевой. В честь первой в мире женщины-космонавта В.В.Терешковой в 1962 г. назван крупный оазис на Берегу Принца Улафа. В массиве Вольтат на Земле Королевы Мод есть даже скалы Восьмого марта, названные нашими полярниками в честь Международного женского дня. Одному из хребтов на этой Земле советские картографы присвоили имя Индиры Ганди. Ее имя индийские полярники дали подводной вершине в южной части Индийского океана.

К группе названий, связанных с женщинами-учеными

и общественными деятелями, можно отнести о.Кюри, названный участниками французской экспедиции в честь Пьера и Марии Кюри. На австралийских картах появился остров Жаклин (у побережья Земли Мак-Робертсона) в честь Жаклин Терри, диктора австралийского радио, которая многие годы передавала сообщения о научных работах в Антарктиде.

Исследования Антарктики продолжают. Они, несомненно, обогатят топонимию ледяного континента новыми названиями. Так, к примеру, ждут своих наименований географические объекты, скрытые под ледниковым покровом. Хочется верить, что среди них появятся новые, нежно звучащие женские имена. ■

Литература

1. Амундсен Р. Собр. соч. Т.2. М., 1937.
2. Бэрд Р. Над Южным полюсом. Л., 1935.
3. Варшавский А. Дюмон-д'Юрвиль. М., 1937.
4. Март Э. Почему бы и нет. М., 1973.
5. Шеклтон Э. В сердце Антарктики. Л., 1935.
6. Сомов М.М. На куполах Земли. Л., 1978.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.02.2007
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 2176
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6