

ПРИРОДА

3 06



В НОМЕРЕ:

- 3** **ПОСТАВИТЬ ЗАСЛОН НАУЧНОМУ НЕВЕЖЕСТВУ**
Кругляков Э.П.
Так куда же мы идем, или Вперед, в Средневековье! (3)
Манин Д.Ю.
Семантический вакуум (6)

- 11** **Недоспасов А.А.**
Триптофановые парадоксы
Парадоксы — результат и двигатель научного прогресса. Триптофановые парадоксы — не исключение, и первенство в их разрешении по праву принадлежит лучшей половине человечества.

- 23** **Калейдоскоп**
 Ущерб от плотин (23). Истинная численность тигров в Индии (23). Пальмовый вор (23). Новая биполярная картографическая проекция (23). Песцы повинны в оскудении флоры (24). Проект «Дождь» (24). Английские петроглифы не моложе французских (24). «Взрывное» цветение (78). Поиск нефти на Аляске (78).

- 25** **Чуразов Е.М.**
Кипятильник в холодильнике
Сверхмассивные черные дыры в скоплениях галактик
Сверхмассивные черные дыры в центрах массивных скоплений галактик надувают гигантские пузыри релятивистской плазмы в окружающем газе. Эти пузыри нагревают газ и компенсируют его потери энергии на рентгеновское излучение.

- 34** **Берман Д.И.**
Как зимуют муравьи на Колыме?
Ежегодно зимуют, замирая на много месяцев, муравьи беспозвоночных животных тысяч разных видов. И только для немногих из них выяснено, как они защищаются от холода.

- 46** **Мельник О.Э., Бармин А.А., Спаркс С.**
Беспокойная жизнь лавовых куполов

Приложение математических моделей к описанию вулканических извержений находится еще на начальных стадиях, но придет время, и они помогут ответить на главный вопрос вулканологии — когда и где произойдет следующее извержение?

- 56** **Белов С.В.**
Заметки и наблюдения
Канары глазами геолога

- 64** **Баркова Л.Л., Панкова С.В.**
Научные сообщения
Татуировки на алтайских мумиях

- 69** **Ман И.А.**
Острова в Южном океане

- 79** **Новости науки**
 Черная дыра в Туманности Андромеды окружена звездами (79). Открыта идеальная экзопланета (79). Субмиллиметровый телескоп АРЕХ. **Сурдин В.Г.** (80). Объект крупнее Плутона: планета или астероид? **Вибе Д.З.** (81). Настольный синхротрон (82). Новый материал для «умных» микросенсоров (82). В-хромосомы у млекопитающих. **Гилева Э.А.** (82). Естественный отбор усиливает изоляцию видов. **Петров П.Н.** (83). Материнское воспитание влияет на половое поведение птиц. **Опаев А.С.** (84). Протеолиз миелина аутоантителами. **Белогуров Ал.А.** (84). «Чертовы сады» поддерживаются муравьями (85). Рыбы и опыление наземных растений. **Гиляров А.М.** (85). Кислород и эволюция млекопитающих (86). Гладиаторы были актерами (87).
 Коротко (10, 33, 68)

- 88** **Корякин В.С.**
Рецензии
Шпицберген глазами норвежских исследователей

- 90** **Новые книги**

- 92** **Борисов В.П.**
Встречи с забытым
Борис Бахметев — посол, мечтатель, ученый

CONTENTS:

- Resonance**
- 3** **ERECT A BARRIER TO SCIENTIFIC IGNORANCE**
Kruglyakov E.P.
Where Do We Proceed, Or Forward to Middle Ages (3)
Manin D.Yu.
Semantic Vacuum (6)

- 11** **Nedospasov A.A.**
Paradoxes of Tryptophane
Paradoxes are result and motive power of scientific progress. Paradoxes of tryptophane are not an exception, and priority in solving them rightfully belongs to the beautiful half of humankind.

- 23** **Kaleidoscope**
 Damage from Dams (23). True Tiger Numbers in India (23). Palm Thief (23). New Bipolar Cartographic Projection (23). Arctic Foxes Cause Flora Depletion (24). Project «Rain» (24). British Cave Paintings Are Not Younger than the French Ones (24). «Explosive» Bloom (78). Oil Exploration in Alaska (78).

- 25** **Churazov E.M.**
Heater in Cooler
Supermassive Black Holes in Galaxy Clusters
Supermassive black holes dwelling in the center of massive galaxy clusters inflate huge bubbles of relativistic plasma in the surrounding gas. These bubbles heat the gas and compensate its energy losses due to X-ray radiation.

- 34** **Berman D.I.**
How Do Ants Overwinter at the Kolyma?
Thousands of invertebrate species and myriads of their individuals overwinter here every year turning to a standstill for several months. And only for a few of them it has been understood how they survive this chilling cold.

- 46** **Melnik O.E., Barmin A.A., Sparks S.**
Unquiet Life of Lava Domes
Using mathematical models in describing volcanic eruptions is yet in its initial stages, but some day it can help us answer the main question of volcanology: where and when the next eruption will occur?

- Notes and Observations**
- 56** **Belov S.V.**
Canaries through the Eyes of Geologist

- Scientific Communications**
- 64** **Barkova L.L., Pankova S.V.**
Tattoo on Altai Mummies

- 69** **Man I.A.**
Islands in Southern Ocean

- 79** **Scientific News**
 Black Hole in Andromeda Nebula Is Surrounded by Stars (79). Ideal Exoplanet Is Discovered (79). Submillimeter Telescope APEX. **Surdin V.G.** (80). An Object Bigger than Pluto: Planet or Asteroid? **Wiebe D.Z.** (81). Desk-top Synchrotron (82). New Materials for Smart Microsensors. (82). B-Chromosomes in Mammals. **Ghileva E.A.** (82). Natural Selection Stimulates Reproductive Isolation of Species. **Petrov P.N.** (83). Maternal Upbringing Influences Sexual Behavior in Birds. **Opaev A.S.** (84). Proteolysis of Myelin by Autoantibodies. **Belogurov Al.A.** (84). «Devil's Gardens» Are Maintained By Ants (85). Fishes and Land Plants Pollination. **Ghilyarov A.M.** (85). Oxygen and Evolution of Mammals (86). Gladiators Were Actors (87).
 In Brief (10, 33, 68)

- Book Reviews**
- 88** **Koryakin V.S.**
Spitsbergen through the Eyes of Norwegian Explorers

- 90** **New Books**

- Encounters with Forgotten**
- 92** **Borisov V.P.**
Boris Bakhmetev – Envoy, Dreamer, Scientist

ПОСТАВИТЬ ЗАСЛОН НАУЧНОМУ НЕВЕЖЕСТВУ

Лженаука, проникающая во все щели между кирпичами, слагающими здание естественнонаучных истин, — удивительная примета времени. Здесь таится немалая опасность. Опасность не для гуманитариев и не для рядовых обывателей, а для студентов и школьников, в головы которых должна быть заложена ментальная способность отличать поиски истины от шарлатанства. Увы, барьер на пути воинствующей антинауки не создан. Об этом, к сожалению, приходится говорить снова и снова. Сегодня мы печатаем отклики на книги, публикация которых вредна нашему обществу.

Так куда же мы идем? или Вперед, в Средневековье!

Академик Э.П.Кругляков

Вот уже с десятков лет быстро сменяющие друг друга министры просвещения (образования, образования и науки) каждый на свой лад начинают разговоры о необходимости срочной реформы системы образования. Что и как собираются реформировать, понять трудно, но можно определенно утверждать, что отнюдь не плохая система образования, доставшаяся нам в наследство от СССР, начинает усиленно деградировать. Почему это происходит? Причин много. Некоторые реформаторы спят и видят, как бы нам западную систему образования скопировать. А ведь можно вспомнить, как нашу систему американцы копировали. Те, кто хоть немного знаком с американской системой образования,

должны согласиться, что даже в сегодняшнем кризисном состоянии ряд наших ведущих вузов не уступает лучшим американским. О средней школе и говорить нечего. Так зачем же ломать то, что не вы, господа, создавали? Верю, что ломать вы научились. А вот сможете ли что-нибудь путное построить взамен — большой вопрос.

Другая кучка «радетелей» за реформу образования придерживается той точки зрения, что в России слишком высокий уровень образования и его нужно понизить. Оно конечно, если все население приставить к трубе, чтобы качать в западные страны то, чем их бог обделил, то, думается, раз в десять этот уровень понизить можно без особых усилий. Ну а ежели какие специалисты потребуются — на Западе выпишем...

Свою лепту в развал системы образования вносят авторы многочисленных учебных пособий. Печально, но факт: министерство, призванное контролировать качество образования, щедро возводит в ранг учебников, учебных пособий безграмотные книжонки, по которым учат студентов (увы, в школу бездарные учебники тоже проникают, но это отдельный разговор). Безответственность в этом деле достигла такого уровня, что любой автор может издать книжку, назвать ее учебным пособием, допечатать от себя, что она допущена Министерством просвещения (образования), и преспокойно внедрять ее в университеты. Никто его проверять не будет. Не верите? Вот вам совершенно конкретный пример с автором, который теперь у всех на слуху: Грабовой

Результат

© Кругляков Э.П., 2006

Григорий Петрович. В 2001 г. издал он книжку «Унифицированная система знаний». В ней черным по белому написано, что это учебное пособие и что оно утверждено Министерством образования РФ. Работники Министерства клянутся, что разрешения на эту книжицу не давали. В книге утверждается обратное. Не знаю, где здесь правда. Если чиновники лукавят, то это значит, что мы имеем дело с коррупцией на рынке учебников. Если Грабовой сфальсифицировал разрешение, налицо полная бесконтрольность и безответственность.

В 1997 г. в Ростове-на-Дону вышла книга «Концепции современного естествознания», написанная авторским коллективом во главе с доктором социологических наук, профессором С.И.Самыгиным. Эту книгу Министерство просвещения РФ рекомендовало в качестве учебного пособия для студентов гуманитарных и экономических специальностей вузов. Что же узнают студенты о современном естествознании из этой книги? «Ученые предполагают, что информация о каждом предмете, об объектах живых и неживых имеется во всех точках Вселенной одновременно». Очень это напоминает тезис древних о том, что Земля плоская и стоит на трех китах. Еще один «перл»: «Информационное поле содержит информацию обо всем во Вселенной и способно зарожать жизнь и направлять ее развитие...». «Наиболее подходящей моделью для объяснения психофизических феноменов — получение информации из недоступного прошлого и пророчество будущего — считается голографическая модель». Оставляю этот абсурд без комментариев. Тут все предельно ясно. Но ведь студентам экзамены сдавать придется! Им-то как поступать? Лицемерить, делать вид, что они согласны с написанным? Впрочем, при существующей технике оболванивания через СМИ

многие примут этот бред за чистую монету. В результате мы получим молодых специалистов с изуродованным представлением о современном естествознании.

Думаете, ростовский учебник — случайность? К сожалению, это больше похоже на систему. Вот перед нами «Философия современного естествознания» (Учебное пособие для вузов. Под общей редакцией проф. С.А.Лебедева. М., 2004).

Книга написана авторским коллективом из профессорско-преподавательского состава флагамена нашей высшей школы, — Московского государственного университета, — в качестве подарка к 250-летию МГУ и одобрена учебно-методическим объединением (УМО) по классическому университетскому образованию. В аннотации к изданию сказано, что «книга адресована студентам, изучающим курс “Концепции современного естествознания”, магистрам и аспирантам всех специальностей для сдачи кандидатского минимума по дисциплине: “История и философия науки”». Надо сказать, книга не осталась незамеченной в ученом мире. Активная полемика возникла в Интернете. Острой критике подверглась книга на заседании бюро Отделения физических наук РАН, а в интернетовском «Русском журнале» («РЖ») в июле 2005 г. вышла, критическая статья Н.Л.Васильевой, на которую также в «РЖ» (сентябрь 2005 г.) откликнулся редактор серии, доктор философских наук, профессор С.А.Лебедев, который грудью встал на защиту своего детища. Очень тонко (!) упомянул он о том, что критиковать книгу посмела «фармацевт из Барнаула Н.Васильева», а самим названием своей статьи «Критика имени Лысенко» дал понять, что Н.Л.Васильева возглавила охоту на ведьм, и, наконец, выразил «сожаление о том, что редакция “РЖ” предоставила свои страницы для откровенного и низко-

пробного “наката”... на МГУ и его профессоров». Более того, по мнению г-на Лебедева, «публикацией этой статьи издание явно дезинформировало своих читателей».

Попробую возразить г-ну Лебедеву по порядку. Во-первых, априори «фармацевт» и «философ» должны быть равны. Или С.А.Лебедев тоскует по старым временам, в том числе и временам Т.Д.Лысенко, когда философия пыталась указывать любой науке «единственно верное» направление?

Теперь по поводу «низкопробного наката». Должен заметить, что если смотреть на содержание книги по существу, а не с позиции защиты чести мундира, с большинством утверждений Н.Л.Васильевой трудно не согласиться. Книга действительно скверная, безграмотная. Не собираюсь анализировать ее подробно. По моей просьбе для Отделения физических наук РАН была подготовлена рецензия с подробным анализом ошибок. Думаю, что к моменту выхода статьи у редактора книги и авторского коллектива будет возможность познакомиться и с рецензией, и с письмом ОФН РАН. И все же несколько замечаний хотел бы высказать.

Прежде всего, процитирую слова г-на Лебедева. «Да, торсионная физика является сегодня во многом концепцией дискуссионной. У нее есть как сторонники, так и противники. Среди первых можно назвать таких ученых мирового уровня, как физики-теоретики Р.Пенроуз, Дж.Уилер, системщик Э.Ласло, известный современный историк физики Б.Грин. Есть у торсионной физики и активные противники, в частности, члены Комиссии РАН по борьбе с лженаукой академики Э.Кругляков и Е.Александров... Почему же всех, кто поддерживает торсионную гипотезу, записали в “лжеученые” или “шарлатаны”?» Автор этой тирады почему-то «забыл» лауреата Нобелевской премии академика В.Л.Гинзбург-

га, который тоже является противником торсионной аферы. Лукавит г-н Лебедев! Никогда упомянутые российские физики не выступали против торсионной физики. Добавлю, к «торсионной физике», которую защищает С.А.Лебедев, Р.Пенроуз и Дж.Уилер никакого отношения не имеют.

Еще одна цитата из С.А.Лебедева: «Да, торсионная физика еще не предоставила достаточно убедительных и, главное, доступных всем экспериментальных доказательств истинности многих... своих следствий. Что из того? Сторонники этой концепции твердо уверены в том, что такие доказательства будут предоставлены в самом ближайшем будущем». Что-то тут не так, г-н Лебедев! Один из Ваших авторов (Л.В.Лесков) представил более чем убедительное доказательство торжества торсионной физики: «первые опыты по испытанию торсионных систем связи были успешно проведены в России около двадцати лет назад». А теперь предлагаю на минутку задуматься. Мобильных телефонов двадцать лет назад не существовало. Но как только они появились, в системах связи произошла революция. Если торсионная связь, обладающая колоссальными преимуществами (нет экранирования, сигнал невозможно перехватить и т.д.), действительно продемонстрирована, почему же за двадцать лет ничего не произошло не только у нас, но и во всем мире?

Чтобы было совсем ясно, с какой «торсионной наукой» боролись и продолжают бороться академики Е.Б.Александров, В.Л.Гинзбург и автор этих строк, приведу еще одно высказывание «отца» торсионных «технологий» А.Акимова, относящееся к 1996 г. «В НПО «Энергия» вскорее должна быть испытана первая летающая тарелка. Принцип ее движения совершенно нов — отсутствует использование реактивной тяги. В случае успешных испытаний существует реальная

перспектива переворота всего транспорта (именно так написано у Акимова. — Э.К.) автомобилей, поездов и т.д. на новую основу, без использования двигателя внутреннего сгорания». В данном случае со времени испытания этого чуда техники прошло около десяти лет. Результат тот же: ничего нет. Чтобы картина стала совсем ясной, приведу последний комментарий, полученный тогда же (в 1996 г.) от первого вице-президента, первого заместителя генерального конструктора РКК «Энергия» В.П.Легостаева. «РКК “Энергия” не занималась, не занимается и не будет заниматься разработкой “летающих тарелок” на основе генераторов торсионного поля». Я мог бы привести десятки примеров, как всевозможные мошенники на основе «науки», которую Вы, г-н Лебедев, защищаете, обогащаются как за счет государства, так и за счет частных лиц. Сегодня с помощью липовых торсионных генераторов, «облужающих» лекарства, приобретающие новые, совершенно волшебные свойства, мошенники обирают несчастных пенсионеров. Заниматься о подготовке кадров, А.Акимов, П.Госьков и Г.Шипов в 2000 г. издали в Алтайском государственном техническом университете (Барнаул) учебное пособие «Физика и техника торсионных излучений. Торсионные технологии». На этой книжице стоит лейбл Минобразования РФ... Так невежество начинает распознаться по стране.

Надеюсь, я достаточно ясно обрисовал ситуацию. Не о сторонниках и противниках «торсионной теории» идет речь, а о сторонниках и противниках **торсионных мошенников.**

Поскольку в этом же номере журнала публикуется статья Д.Ю.Манина, чтобы не повторяться, не буду далее комментировать странности «Философии современного естествознания». Хотел бы задать последний вопрос редактору книги: утверждение о том, что «будущее оказы-

вает влияние на настоящее» — это что, точка зрения современной философии или просто невнимательность редактора? Ну как же можно такие ляпсусы оставлять в учебнике?

«Философию современного естествознания» можно было бы рассматривать как досадное недоразумение, если бы не одно но... В том же 2004 г. вышла книга «Философия науки», а в 2005 г. — «Введение в историю философии науки» и «Основы философии науки». Все три книги явились на свет под редакцией все того же профессора С.А.Лебедева, рекомендованы Отделением философии, политологии и религиоведения УМО по классическому университетскому образованию в качестве учебных пособий для студентов, магистров и аспирантов. Наконец, во всех трех книгах раздел «Современная научная картина мира» написан Л.В.Лесковым — автором главы 2 («Современная физическая картина мира») в «Философии современного естествознания».

Полемизируя с Н.Л.Васильевой, Лебедев игриво замечает: «Для завершенности недостает только одного: предложения о внесении рецензируемого учебника в “Индекс запрещенных книг”». Конечно, г-н Лебедев этого не боится, ведь у нас демократия: что хочу, то и ворочу. Но сама по себе мысль интересная и заставляет задуматься: а все-таки, что можно сделать, чтобы молодые люди могли учиться по качественным учебникам? И вот какие мысли приходят в голову.

1. Естествознание состоит из ряда конкретных наук. Совершенно непонятно, почему философы, а не биологи, геологи, физики должны анализировать концепции современного естествознания? Заниматься этим должны профессионалы. В крайнем случае, можно говорить о совместном с философами написании каждого раздела. Но когда практически все области знаний покрываются фи-

лософами, едва ли можно ожидать появления добротных учебников.

2. В создавшейся сегодня ситуации УМО должно снять свой гриф с учебных пособий, о которых здесь шла речь, разослать уведомления об этом во все библиотеки, куда рассылаются учебники, уведомить все университеты страны.

3. На будущее следует предусмотреть процедуру обязательного квалифицированного независимого рецензирования рукописей учебников и учебных пособий. Закон РФ «Об образо-

вании» в его сегодняшнем виде не устанавливает каких-либо ограничений на использование учебных пособий. **В частности, их экспертиза не требуется.** Это грубейшая ошибка законодателей. Ее нужно исправить.

4. Необходимо устранить параллелизм в выдаче рекомендаций на учебники и учебные пособия. Будет ли этим заниматься министерство или УМО, не столь важно, но это должен быть один орган, который обязан следить как за выдачей разрешений, так и за тем, чтобы не возникали ложные учебники.

Конечно, то, что здесь предлагается, — лишь малая толика из того, что необходимо сделать в самое ближайшее время. В этом деле, как говорил известный классик, «промедление смерти подобно!»

PS: Только что получил письмо от знакомого астрофизика. Он пишет: «В последнее время стал замечать, что в планетариях России (и Украины) стали пропагандировать астрологию». Удивляться нечему. Реформа образования начинает действовать...

Семантический вакуум

Д.Ю.Манин,

кандидат физико-математических наук
Санта-Клара (Калифорния, США)

Учебное пособие «Философия современного естествознания» выпущено, как значится на обложке, «К 250-летию МГУ им.М.В.Ломоносова». Я внимательно прочел главу 2, которая называется «Современная физическая картина мира», автор ее доктор физико-математических наук Л.В.Лесков. Будем называть вещи своими именами: это апофеоз невежества и пропаганда шарлатанства. На одну половину это невнятный пересказ плохо понятых популярных книжек, а на другую — невероятный набор неомистических паранаучных фантазий в духе New Age.

Каждый имеет право на паранаучные фантазии, даже если он доктор физико-математических

наук. Но когда речь идет об учебнике, получившем визу соответствующих инстанций и выпущенном под маркой МГУ, это нетерпимо. По Л.В.Лескову, в современную физическую картину мира входят, в частности, следующие представления: «...Взаимодействие торсионных квантовых вихрей носит не энергетический, а чисто информационный характер, и, следовательно, на них не распространяется следующий из теории относительности запрет на существование сверхсветовых скоростей. Для торсионных полей этот запрет снимается по той причине, что они обладают свойством нелокальности».

На самом деле информация всегда переносится материальными носителями и поэтому не может распространяться со сверхсветовыми скоростями. Квантовым объектам действи-

тельно свойственна нелокальность (по крайней мере, насколько нам сейчас известно), но ее невозможно использовать для мгновенной передачи информации.

Ситуация эта полна скрытой иронии. Говоря о ньютоновской механике, Лесков называет классическое абсолютное время «парадоксальным понятием» (хотя и не объясняет, что в нем такого уж парадоксального) и несомненно считает теорию относительности шагом вперед. Между тем мгновенная передача информации как раз и означала бы недвусмысленный возврат к абсолютному времени, поскольку позволила бы точно и однозначно синхронизировать все часы во Вселенной и придать абсолютный смысл понятию одновременности событий.

По существу вся теория относительности зиждется на не-

Вариант статьи, опубликованной в журнале «Здравый смысл» (2005. №3(36)).

© Манин Д.Ю., 2006

возможности передавать сигналы быстрее света. Если бы это было возможно, не только время оказалось бы абсолютным, но и расстояния были бы независимы от движения наблюдателя, и мы вернулись бы к плоскому, абсолютному пространству дорелятивистской механики. И все, что объяснила теория относительности, потребовало бы какого-то нового объяснения, потому что кривизна пространства-времени была бы исключена. Между тем кривизна эта так дорога профессору Лескову, что свою главу он заканчивает словами: «...в мире ничего не происходит, кроме кручения пространства и изменения его кривизны» (с.62). На то, чтобы понять несовместимость этого с мгновенной передачей сигналов, его квалификации, очевидно, не хватает.

«Торсионные поля — идеальное средство для связи на межзвездных расстояниях. О возможности использовать их для этой цели свидетельствуют эксперименты, проведенные в разное время Н.А.Козыревым, М.М.Лаврентьевым и А.Ф.Пугачем» (с.41). Надо полагать, упомянутые авторы улетали на межзвездные расстояния и присылали оттуда сообщения с помощью торсионных полей. А может быть, вступили в сношения с инопланетянами. Подробности нам не сообщают.

«Вот пример нелинейных процессов: возьмите лист бумаги и сложите его пополам. Потом еще раз пополам — и так далее 40 раз. Попробуйте угадать, какой толщины получится у вас эта стопка бумаги, не заглядывая на следующую строчку. А проведя нехитрый арифметический подсчет, вы получите поразительный результат — 350 000 км, расстояние от Земли до Луны!» (с.44). Доктор физико-математических наук, по-видимому, полагает, что экспоненциальный рост — проявление нелинейности. На самом деле это типичное решение именно линейных уравнений, а роль нелинейности

обычно заключается в ограничении роста. Нелинейность и хаос вообще возводятся Лесковым в роль фундаментальных принципов, но что это такое и как они друг с другом связаны, он откровенно не понимает. «Хаос — это свободная игра факторов, каждый из которых, взятый сам по себе, может показаться второстепенным, незначительным. В уравнениях математической физики такие факторы учитываются в форме нелинейных членов, т. е. таких, которые имеют степень, отличную от первой» (с.43). Это попытка объяснить, почему хаотические решения возникают в нелинейных уравнениях. Попытка, более всего напоминающая объяснение происхождения слова «смородина» из слова «родина» (на самом деле, оно родственно слову «смердеть» и означало «пахучая ягода»). Не знаешь даже, с чего начать перечислять нелепости в этом пассаже. Динамический хаос, который имеет здесь в виду Лесков, — это не «свободная игра факторов», а удивительное, но реальное свойство некоторых систем быть неустойчивыми по отношению к малым возмущениям, но при этом оставаться в некоторой ограниченной области параметров. В результате предсказание движения системы оказывается возможным только на ограниченное время вперед. При этом система остается принципиально детерминистской. Малые возмущения как причину непредсказуемости доктор путает здесь с нелинейностью как причиной чувствительности системы к этим возмущениям. Между тем чувствительность к малым возмущениям и хаотические решения существуют и у линейных систем, таких как классических, как точечная частица в потенциальном поле (так называемые хаотические бильярды).

Простейший пример нелинейности — растяжение пружинки. Если к пружинке подвесить небольшой груз, ее растяжение будет пропорционально

весу груза. Эта пропорциональность и другие подобные ей и называются «линейностью». По мере увеличения груза мы дойдем до предела растяжимости пружины; сначала она перестанет удлиняться, а потом и вовсе порвется. Это — нелинейная стадия. Более сложный пример нелинейности дают волны на воде. Когда возвышение поверхности невелико, вдвое более высокая волна ведет себя совершенно так же, как и вдвое более низкая. Это — линейность. По мере увеличения амплитуды (возвышения) волны ее гребень начинает заостряться, а затем волна опрокидывается. Это уже нелинейный эффект.

Большинство процессов в природе нелинейны. Но в большинстве же случаев при малой интенсивности процесса он хорошо описывается линейным приближением, как в случае пружинки и волн. Линейные уравнения, грубо говоря, все одинаковые, и мы знаем, как находить их решения. Нелинейные же уравнения все разные, и решению поддаются только в редких случаях. Поэтому ученые долгое время исследовали почти исключительно линейные уравнения. В нелинейной области доступнее для изучения случаи слабой нелинейности: натянутая, но еще не рвущаяся пружина, заостряющиеся, но еще не опрокидывающиеся волны. С математической точки зрения это и означает, что к линейным уравнениям добавляются малые дополнительные члены, о которых говорит Лесков. Но они никакого отношения не имеют ни к «свободной игре второстепенных факторов», ни даже к хаосу.

Повторю, что хаос возникает в физических системах, когда решение системы особо чувствительно к малым возмущениям, но при этом остается в ограниченной области. При этом система остается строго детерминистской, т.е. если абсолютно точно знать ее начальное состояние, то можно абсолютно точно предсказать ее будущее. Тон-

кость, однако, в том, что абсолютной точности не бывает, а ошибка в измерении (или приготовлении) начального состояния приводит к растущей со временем ошибке предсказания. Но у нехаотических систем эта ошибка растет линейно со временем, так что увеличение точности вдвое позволяет предсказать будущее на вдвое больший срок. У хаотических же систем ошибка предсказания растет со временем экспоненциально, в геометрической прогрессии. В результате каждое увеличение начальной точности вдвое увеличивает срок предсказания всего на столько-то времени.

Представьте себе, что для увеличения надежности прогноза погоды на один день надо было бы удвоить количество метеостанций (чтобы получить более подробные данные). Тогда увеличение еще на один день потребовало бы четверо больше станций, на десять дней — в тысячу раз, а на двадцать дней — в миллион с лишком. Ясно, что тогда прогноза на двадцать дней нам не видать, как своих ушей, хотя теоретически он возможен. Так, динамический хаос разрешает противоречие между детерминизмом и невозможностью знать будущее.

Совсем нетрудно и продемонстрировать, как такое поведение возникает. Представим себе лист теста диаметром в 20 см, поместим на него две черные перчинки и измерим расстояние между ними с точностью до 0.1 мм. Затем раскатаем лист вдвое, сложим пополам, снова раскатаем вдвое и сложим пополам, и так далее. (Это называется «преобразование пекаря».) Сможем ли мы предсказать, какое будет расстояние между перчинками после десяти раскатываний? После первого расстояние увеличится вдвое, но и ошибка измерения увеличится вдвое. После каждого раскатывания наша начальная ошибка будет удваиваться, в то время как расстояние между перчинками никогда не превысит

20 см. Через 10 раскатываний ошибка возрастет в тысячу раз (точнее, в 1024 раза), т.е. достигнет 10 см. Это будет означать, что мы уже ничего не знаем о расстоянии между перчинками. Вполне возможно, что пример Лескова со складыванием листа бумаги восходит к преобразованию пекаря, фундаментально непонятому и до неузнаваемости перевернутому.

Ну и, наконец, надо отметить, что хаотическое поведение наблюдается отнюдь не только у нелинейных, но и вполне линейных систем. Хаотична, например, система твердых упругих шариков в сосуде, т.е. идеальный газ классической физики. Неужели Лесков не знает и этого? «Принятие этой [эволюционной синергетической. — Д.М.] парадигмы означает, во-первых, отказ от базовых постулатов традиционной науки:

- от принципа классической причинности,
- от редукционизма,
- от гипотезы апостериорности, т.е. приобретения знаний исключительно на основе прошлого опыта» (с.45). Ни редукционизм, ни классическая причинность нигде в тексте не объясняются, так что остается неясным, чем грозит отказ от них. Что же касается «гипотезы апостериорности», то альтернативой ей, очевидно, служит приобретение знаний на основе будущего опыта. Сомневайтесь? Напрасно: «...будущее оказывает влияние на текущий процесс — этот вывод полностью противоречит классике». Едва ли студенты-философы, политологи и религиоведы, которым адресована книжка, так легко поверят во влияние будущего на прошлое, даже если их убеждает в этом доктор физико-математических наук. Но не обязаны знать, что такое тензор, метрика или спин, они не смогут понять, что их водят за нос в таких местах, как «основная категория относительности — это метрика, т.е. число, которое сопоставляется с двумя точками (событиями)»

(с.51). Неверно, метрика — это не число, а тензор. «Электрон, как и все остальные элементарные частицы, может обладать не только положительной, но также и отрицательной энергией. Понять физический смысл этого предсказания теории было непросто» (с.39). Доктор Лесков, очевидно, не знает, что энергия вообще определена с точностью до аддитивной константы. Иначе говоря, имеет смысл только разность энергий (до и после, здесь и там, у этой системы и у той), но не абсолютная ее величина. Отрицательная энергия системы означает всего лишь, что энергии меньше, чем у другой системы или в другом ее состоянии. «Второй подход к интерпретации квантовой механики называют неоклассическим. Сторонники этого подхода (Д.Бом и др.) полагают, что классический принцип причинности можно сохранить, если ввести в теорию некие скрытые, неизвестные пока параметры. Однако этот подход непродуктивен, так как никому из его защитников не удалось раскрыть природу этих скрытых параметров» (с.49). Принцип причинности заключается в том, что следствие не может произойти раньше своей причины. Квантовая механика (равно как и теория относительности) никоим образом не нарушает этого принципа. Что же касается гипотезы скрытых параметров, то она почти окончательно опровергнута недавними работами группы французских физиков («эксперимент Аспекта»), осуществивших мысленный эксперимент Эйнштейна—Розена—Подольского и получивших результат, подтверждающий стандартную квантовую теорию и несовместимый с гипотезой скрытых параметров. Этот знаменитый результат, по-видимому, известен д-ру Лескову, но не понят им. «Известен квантовомеханический парадокс, связанный с наблюдением интерференционной картины, возникающей при прохождении пучка

электронов или светового луча (т.е. пучка фотонов) сквозь пару узких щелей. Парадокс состоит в том, что интерференционная картина возникает даже в том случае, когда на щель падает один электрон или один фотон» (с.50). Это неверно. Один фотон или один электрон всегда регистрируются фотопластинкой как одно локальное пятнышко. Интерференционная картина же возникает из этих пятнышек, когда их становится достаточно много. Но читаем дальше: «С точки зрения стандартной квантовой теории это должно означать, что фотон расщепляется на две части, одна из которых проходит сквозь одну щель, а другая сквозь вторую, после чего обе части интерферируют на экране. Этого, однако, не может быть, потому что фотон — это минимальная порция, квант электромагнитного излучения» (с.50). Профессор Лесков снова демонстрирует свое непонимание, на этот раз — основ квантовой механики. Неделимость фотона относится только к процессам излучения и поглощения. Невозможно излучение или поглощение части фотона. Но, проходя через щели, фотон не излучается и не поглощается, поэтому ничто не запрещает ему пройти через обе щели сразу, даже если ему для этого надо «поделиться на две части», что бы это ни означало.

Иначе говоря, с парой щелей каждая отдельная квантовая частица взаимодействует как волна (проходит через обе щели, за которыми возникает сложная интерференционная картина узлов и пучностей), а с фотопластинкой — как частица (неделимая, способная находиться только в одном месте одновременно). Имеется веская причина для такой разницы: первое взаимодействие обратимо, а второе необратимо. К сожалению, у меня нет никакой возможности вдаваться здесь в дальнейшие подробности, но важно подчеркнуть, что никакого парадокса в том смысле, который имеет в виду Лесков,

здесь нет. Он пытается представить дело так, будто в самой квантовой механике имеется внутреннее противоречие: «с одной стороны, должно быть такто, а с другой, этого не может быть». Это не так, квантовая механика противоречит только наивным представлениям об устройстве мира, но внутренне вполне последовательна. «Поместим заряженное электрически тело в фитонный вакуум. Следствием этого будет зарядовая поляризация фитонов; электрические заряды, образующие свертку, уже не смогут полностью компенсировать друг друга, а немного сместятся в направлении внешнего поля. Каждая частица начнет раскачиваться вверх и вниз относительно уровня минимальной энергии. Такую зарядовую поляризацию фитонного вакуума можно интерпретировать как электромагнитное поле» (с.40). Поляризация, как известно всякому, кто хоть поверхностно знаком с физикой, действует против приложенного электрического поля, ослабляя его. Поэтому интерпретировать «фитонную поляризацию» как само поле никак невозможно. Да и откуда бы взяться «смещению в направлении внешнего поля», если это поле само является смещением «фитонов»? Впрочем, задавать подобные вопросы бесполезно: все эти формулировки — не точности и не ошибки, а прямая бессмыслица.

Порой возникает впечатление, что автор вовсе не заботится об осмысленности текста, а просто упивается звонкими словами. Например, он пишет: «Между материей и полем в ОТО нет качественного различия: вещество находится там, где концентрация поля максимальна, поле — там, где она мала» (с.37). Поле находится, стало быть, там, где концентрация поля мала, а не там, где она максимальна. «Эту задачу решил Г.И.Шипов, разработавший теорию, в которой учитывается движение систем отсчета не только

в трансляционных, но также и во вращательных координатах. Рассматривая четырехмерные вращающиеся системы отсчета, он получил десятимерное пространство событий (поскольку у трансляционных координат x, y, z имеется шесть вращательных координат)» (с.53). А это вовсе набор слов, не означающий ровным счетом ничего. Выражениям «движение систем отсчета во вращательных координатах» и «у трансляционных координат имеется шесть вращательных координат» невозможно приписать никакого смысла, даже ошибочного. Вспоминается бессмертный старичок-изобретатель из «Сказки о тройке» Стругацких: «Высочайшие достижения нейтронной мегалоплазмы! — провозгласил он. — Ротор поля наподобие дивергенции градуирует себя вдоль спина и там, внутри, обращает материю вопроса в спиритуальные электрические вихри, из коих и возникает синекдоха ответа...».

Сходство порой просто пугающее. В разделе «Семантика квантового вакуума» читаем: «Удивительные физические свойства торсионного поля позволяют рассматривать его как универсальную информационную сеть. <...> Если в роли оператора смыслов выступает человек, то функцию процессора берет на себя его мозг. <...> Этот механизм можно использовать для объяснения феномена интуиции и явлений экстрасенсорного восприятия» (с.60). Натурально, «спиритуальные электрические вихри, из коих и возникает синекдоха ответа». «Где находится физика ума?» — задает вопрос член Лондонского королевского общества, профессор математики Оксфордского университета Р.Пенроуз. У нас появилась возможность подсказать ему ответ. Можно утверждать, что наиболее фундаментальной материальной основой, поддерживающей функционирование сознания, служит не нейронная сеть головно-

го мозга, а связанные с ней по информационным каналам топологические протоструктуры квантового вакуума» (с.61). Утром нос Пенроузу! Топологические структуры квантового вакуума подсказали нам ответ посредством феномена интуиции. (Нейронная сеть головного мозга в этом деле участия не принимала.)

Ну и в довершение всего, правда, со ссылкой на другое лицо, читаем: «Ф.Типлер предложил финалистскую версию АП, в основе которой лежит постулат вечности жизни, точнее — реализации программы производства информации. Физическая природа носителей информации при этом несущественна, это вовсе не обязательно человек. Цель этого процесса состоит в управлении крупномасштабной структурой Вселенной, а его финал — точка Омега, бесспорный Разум, потенциально

владеющий бесконечно большим объемом информации. На основании своей концепции Типлер утверждает, что Вселенная должна быть закрытой. Она потенциально содержит точку Омега как финал, в котором сливаются все мировые линии событий. Этот всеохватывающий эволюционизм Типлера — не что иное, как тотальная колонизация Космоса антропоморфным «развертывающимся богом». С точки зрения синергетики это, несомненно, модель эволюционного тупика» (с.57—58). Думаю, мадам Блаватская осталась бы довольна достижениями современного естествознания. Но позволите, «УМО по классическому университетскому образованию», рекомендовавшее книгу в качестве учебного пособия, — не мадам же Блаватская? Как такое нагромождение откровенной чуши могло получить статус учебника, мне, призна-

юсь, непостижимо. Конечно, несчастные студенты, которым придется сдавать экзамены по этому учебнику, поступят с ним так же, как мы в свое время с диаматом. Но что-то западет в неокрепшие души. И имена шарлатанов торсионных полей встанут на одну полку с именами Эйнштейна и Бора, Дирака и Ньютона. И выпускники факультета политологии, поступив на руководящие должности, будут с уважением относиться к тем, о ком читали в учебниках, и будут давать им деньги на важные исследования в области физического вакуума. Я слышал такое мнение, что «наука — самоочищающаяся система, никакие торсионщики ей помешать не могут». Это правда, конечно, наука как целое свое возьмет. Но речь-то идет не о науке вообще, а о российской науке. И если с ней творят такое, то дело худо. ■

Ранее считалось, что в «заморских департаментах» Франции принимаются серьезные меры по охране природы. Однако в ходе исследования видового разнообразия орхидей на о.Гваделупа, входящем в группу Малых Антильских о-вов и принадлежащем Франции, выяснилось, что почти 40% из 102 видов этих растений оказались под угрозой исчезновения. Так, местным ботаникам удалось найти лишь один экземпляр эндемика *Octomeria frenchiana*. *Apleurothallis mazei*, также произрастающий только на этом острове, исчез из поля зрения ученых уже более 10 лет назад. *Terre Sauvage*. 2005. №208. P.52 (Франция).

В окрестностях Лондона, на берегу одного из притоков Темзы, обнаружено захоронение в дубовом гробу, датиро-

ванное началом XI в., т.е. временем римского владения Британией. Находясь в постоянно влажной среде, гроб прекрасно сохранился, свидетельствуя о необычном для британцев и римлян того времени погребальном обряде: по крайней мере до III в. у них была принята кремация умерших.

La Recherche. 2005. №385. P.18 (Франция).

Таможенники парижского аэропорта Руасси при досмотре багажа, перевозившегося из Республики Нигер в Бельгию, обнаружили бесценные вещи, которые внесены в Красный список Международного совета музеев. Груз, изъятый 6 января 2005 г., весил 503 кг и содержал 845 археологических находок, среди которых ископаемые кости динозавров, шлифованные камни возрас-

том 8—10 тыс. лет, изделия из глины и погребальные статуэтки, датируемые X в. На все эти награбленные, украденные и запрещенные к вывозу предметы наложен арест.

Sciences et Avenir. 2005. №697. P.27 (Франция).

Американское агентство круизных рейсов «Carnival» намерено приобрести «Калипсо» — легендарное судно капитана Кусто — с целью его ремонта. Этот бывший минный тральщик, переоборудованный в 1950 г. под океанографическое судно, уже шесть лет находится в жалком состоянии во французском порту Ла-Рошель. Все работы по его реставрации должны быть проведены на верфи Багамских о-вов.

Sciences et Avenir. 2005. №695. P.34 (Франция).



Триптофановые парадоксы

А.А.Недоспасов

Триптофан — одна из 20 «канонических» белковых аминокислот — содержит в боковой цепи индольный фрагмент (рис.1). Химия этих соединений достаточно сложна, и в школе о триптофане часто вообще не упоминают — при нищенском бюджете любые усложнения противопоказаны. Впрочем, и в более благоприятных условиях большинство не знает даже о существовании триптофана. В статье речь пойдет о парадоксах, связанных с триптофаном. Впрочем, не только с ним.

Фундаментальный парадокс состоит уже в существовании триптофана в белках. Мы не знаем, почему из нескольких тысяч относительно простых структур аминокислот в белках земных организмов представлены эти 20, включая довольно нестабильный триптофан. Что это — случайность, вероятность реализации которой близка к нулю; одна, быть может, не лучшая, из нескольких альтернатив; или же единственное решение проблемы создания самоподдерживающейся, эволюционирующей миллиарды лет в масштабах планеты, накапливающей информацию системы химических веществ и их превращений, которую мы называем Жизнью?

© Недоспасов А.А., 2006

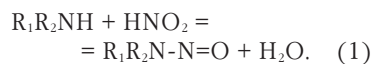
*...А в это время женщины копали
И продвигались медленно вперед...
Из песни Б.Вайханского*



Андрей Артурович Недоспасов, доктор химических наук, заведующий группой энзиматического анализа Института молекулярной генетики РАН. Занимается биохимией оксидов азота.

Эмилия, Елена* и другие

В 70-х годах XX в. серьезное внимание уделялось изучению канцерогенных соединений. Одним из популярных объектов были нитрозоамины — вещества с группировкой N=N=O, образующиеся при действии азотистой кислоты (HNO₂) или оксидов азота на вторичные амины:



Оказалось, что нитрозотриптофан (NOW) — относительно устойчивое соединение желтого цвета — в некоторых тестах

* Испанские химики: Елена Пена (1960—1993) занималась изучением нитрозирования производных индола; Эмилия Иглесиас ныне профессор Университета Ла-Корунья.

проявляет мутагенную активность. Полагали, что он может образоваться из триптофана белков при попадании в организм нитритов (солей HNO₂), иногда применяемых в кулинарии (розовый цвет ветчины обусловлен ими). Поскольку нитриты могут накапливаться в овощах, особенно при интенсивном удобрении нитратами (соли азотной кислоты — обычные удобрения, производство исчисляется миллионами тонн), опасность образования канцерогенов этим путем реальна, и с ней приходится считаться.

Нитрозирование** производных индола при действии кис-

** Нитрозилирование и нитрозирование — замещение атома водорода на группу NO. Подробнее см.: Недоспасов А.А., Беда Н.В. Биогенные оксиды азота // Природа. 2005. №7. С.35—42.

лых растворов нитрита исследовали еще в 1972 г. Парадокс состоял в том, что скорость реакции была пропорциональна концентрациям HNO_2 . При нитрозировании других соединений наблюдалась квадратичная зависимость, что имело хорошее объяснение.

Парадокс прожил довольно долго и разрешился усилиями англо-испанского коллектива исследователей в 1986 г. [1]. Авторы детально исследовали кинетику нитрозирования и денитрозирования (разложения) производных триптофана (рис.1). Был предложен механизм образования NOW: первоначально атаке подвергается атом углерода C^3 в пятичленном цикле, а скорость процесса определяется внутримолекулярной перегруппировкой $\text{C}^3 \rightarrow \text{N}$ (группа NO «перепрыгивает» с углерода на азот). Оказалось, механизмы реакций зависят от кислотности среды. При слабых кислотных pH катализ эффективен и при синтезе, и при денитрозировании: для триптофана реакция 1 обратима. Естественно, NOW не гидролизует в отсутствие воды и в безводных условиях достаточно стабилен. Даже в близких к нейтральным растворам, обычных *in vivo*, он довольно устойчив. Примечательно, что эта работа была опубликована менее чем за год до от-

крытия биосинтеза NO у млекопитающих — до новых парадоксов оставалось совсем немного.

С открытием биосинтеза NO нитрозирование стало восприниматься как естественная реакция метаболизма: случайного поступления нитритов с пищей не требовалось. Внимание к модификациям белков под действием оксидов азота резко возросло. В 1992 г. выяснилось, что *in vivo* триптофан и цистеин в составе белков нитрозируются с образованием NOW и S-нитроцистеина (Cys-NO) соответственно, что может регулировать активность ферментов. Cys-NO, хорошо знакомый биохимикам, занимавшимся биогенным NO, сыграл принципиальную роль в его открытии, а в свободном (вне белков) виде использовался как легкодоступный реагент и даже фармацевтическое средство. Для определения Cys-NO и других соединений с группой $-\text{SNO}$ имелись чувствительные методы, позволяющие обнаружить его в составе белков. Для NOW таких методов не было. Неудивительно, что с открытием биосинтеза NO нитрозированием цистеина в белках занимались широко, а триптофан/NOW оказались в тени. Случались курьезы: Cys-NO находили в белках, вообще не содержащих цистеина в первичной структуре. Сочетание

известной уже мутагенности NOW с постоянно протекающим нитрозированием триптофана, видимо, не воспринималось как парадокс. Поскольку для триптофана реакция 1 обратима, образующийся в белках нитрозотриптофан, казалось бы, мог разлагаться, а низкие концентрации оксидов азота *in vivo* способствовали смещению равновесия в сторону немодифицированного триптофана.

Парадокс возник в связи с необходимостью учета гетерогенности среды: клетки и ткани — не гомогенные водные растворы, кое-что в воде нерастворимо (например, липидные мембраны, отделяющие клетку от окружающей среды и ограничивающие отдельные компартменты внутри клеток). Поведение оксидов азота в водном растворе и в гетерогенных средах различно: в гетерогенной среде окисление NO кислородом ускоряется, и реакция протекает в основном в липидных фазах, хотя их относительный объем мал. В них же образуется большая часть высших оксидов азота, обеспечивающих нитрозирование и другие модификации белков.

Представления о мицеллярном окислительном нитрозировании (МОН) привели к парадоксу, казавшемуся даже опровержением самой теории МОН. Поскольку индольный фрагмент

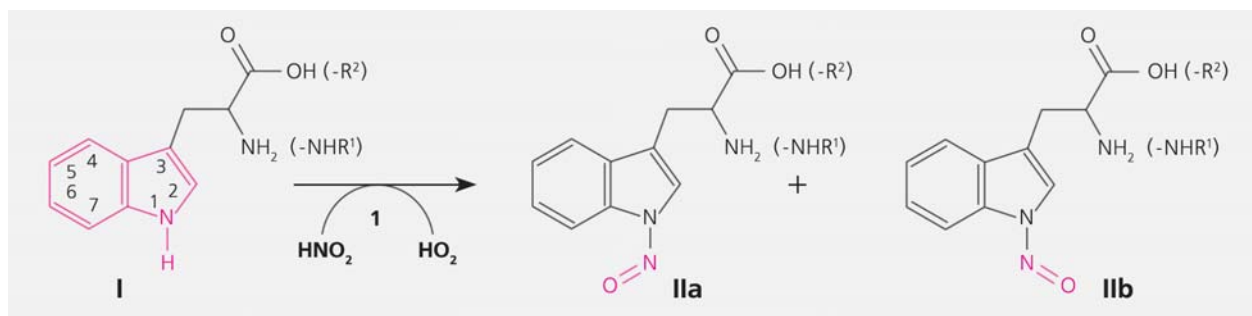


Рис. 1. Структуры триптофана (индольный фрагмент выделен красным) и изомеров нитрозотриптофана. Показана принятая нумерация атомов. В структурных формулах органических соединений атомы углерода часто отображаются только химическими связями этих атомов. Атомы водорода, связанные с атомами углерода, также обычно не указывают. Их число и положения можно легко определить, зная, что углерод четырехвалентен. Например, в индольном фрагменте триптофана имеется восемь атомов углерода (вершины многоугольников) и пять атомов водорода (у C^2 , C^4 , C^5 , C^6 , C^7), у остальных С все четыре валентности заняты связями с другими атомами, атомов водорода у них быть не может.

молекулы триптофана гидрофобен и предпочитает находиться в гидрофобных фазах, он должен эффективно нитрозироваться в них с образованием NOW; обратная реакция (денитрозирование) в гидрофобной фазе невозможна из-за отсутствия воды; следовательно, накопление NOW в белках NO-синтезирующих организмов должно протекать непрерывно, и долгоживущие белки должны были бы содержать значительные количества NOW (следовательно, быть желтыми), чего в действительности не наблюдается («триптофановый парадокс», [2]).

Для спасения теории МОН была высказана гипотеза, что устойчивость к NO-зависимым модификациям является фактором естественного отбора, и в структуры белков современных NO-синтезирующих организмов должны быть встроены механизмы, препятствующие накоплению NOW. Рассматривалось несколько вариантов: остатки триптофана не находятся в гидрофобных фазах с максимальной нитрозирующей активностью; в тех же молекулах белков есть другие функциональные группы, конкурирующие с триптофаном при нитрозировании и снижающие концентрации NOW в гидрофобных фазах; рядом с остатками триптофана находятся группы, катализирующие денитрозирование.

Проверить все эти возможности выпало двум нашим замечательным соотечественницам, волею судьбы оказавшимся на переднем крае исследований биохимии оксидов азота еще до поступления в университеты*. Было установлено, что предсказанный отбор по окружению ос-

* Первая статья (см. [3]) с вынесенным на обложку журнала ключевым рисунком была опубликована, когда они сдавали выпускные экзамены за курс средней школы. В книге рекордов Гиннеса этот факт до сих пор не нашел отражения — возраст авторов научных статей редакциям журналов обычно неизвестен. Напомним, Мари Кюри ко времени выхода ее первой статьи было 28.

татков триптофана в белках действительно существует. Он проявляется уже в первичных структурах и гораздо более сильно выражен в третичных.

Наталья

Перед исследованием окружения остатков триптофана в белках Наталья Беда занималась экспериментальной проверкой предсказаний теории МОН. Было показано, что по крайней мере модельные соединения под действием NO в присутствии кислорода быстро нитрозируются в гидрофобных фазах, в качестве которых выступали гидрофобные ядра молекул глобулярных белков [4]. Гидрофобный остаток триптофана должен был бы вести себя аналогично и легко превращаться в NOW. Так почему же наши белки не желтые?

Известные первичные структуры белков собраны в базе данных, доступной через Интернет.

Каждой из 20 аминокислот соответствует буква латинского алфавита (A — аланин, C — цистеин,.. W — триптофан). Вся первичная структура представлена в виде очень длинного «предложения», состоящего иногда из более чем 1000 букв — по числу аминокислотных остатков в полипептидной цепи конкретного белка. Согласно гипотезе, рядом с триптофаном (W) заряженные и полярные остатки (B = D, H, K, N, Q, R, S), способные участвовать в денитрозировании NOW, встречаются чаще, а гидрофобные, усиливающие эффект МОН и нитрозирование (B = A, F, I, L, V, Y), — реже, чем в среднем по структуре.

Для проверки определили число имеющихся в базе структур, содержащих последовательности вида $X_{22-n}BX_{n-1}W$ и $WX_{n-1}BX_{22-n}$ (W — остаток триптофана, B — остаток определенной аминокислоты, X — остаток произвольной аминокислоты, $1 \leq n \leq 22$) для каждой из 20 аминокислот. Ожидания оправда-

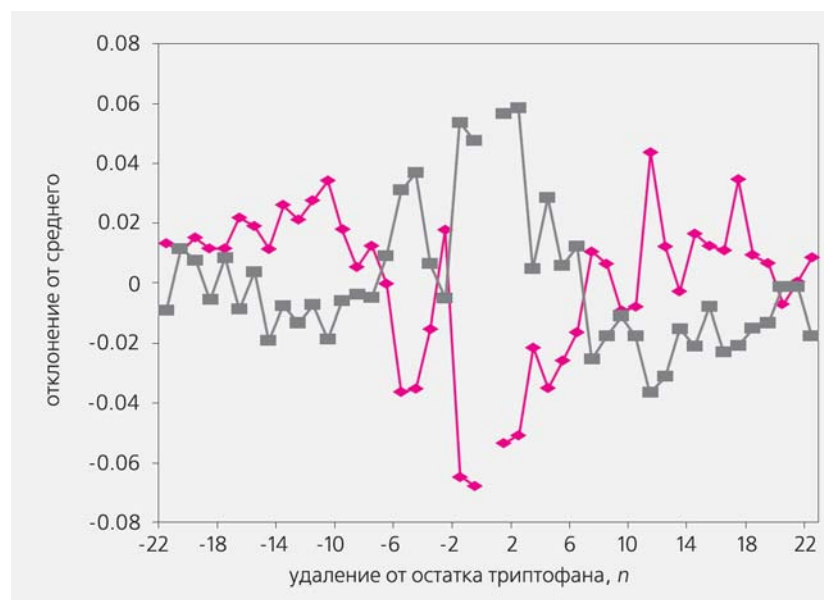


Рис.2. Отклонения наблюдаемых частот ($p_{n,A} - 1$) встречаемости «гидрофобных» (A, F, I, L, V, Y — показано цветом) и «гидрофильных» (D, H, K, N, Q, R, S) аминокислотных остатков в зависимости от удаления от триптофана в первичной структуре. Нормировка на среднее значение на всем интервале. Остаток триптофана находится в центре графика ($n = 0$), удаление от него показано числом остатков n по оси абсцисс, N-концевая аминокислота находится слева от триптофана.

лись [5]. Частота встречаемости остатков из первой и из второй групп зависела от удаления от остатка триптофана (рис.2). Эффект особенно заметен для двух ближайших к триптофану остатков (с обеих сторон полипептидной цепи). Интересно, что наблюдаются значительные дополнительные «аномалии» (максимумы — для полярных, минимумы — для гидрофобных остатков) в положениях -6, -5 и +4. При укладывании линейной молекулы в пространственную структуру эти остатки чаще оказываются рядом с остатком в положении 0, чем более «близкие» (в первичной структуре) остатки +3 и -3. Таким образом, уже из анализа окружения триптофана в первичных структурах было видно, что предсказанные эффекты реально существуют.

Татьяна

Особенности ближайшего окружения остатков триптофана в первичных структурах недостаточны для объяснения их устойчивости к нитрозированию — наблюдаемый эффект слишком мал. Можно было ожидать, что больший вклад дают функциональные группы остатков, удаленных от триптофана в первичной структуре, но оказывающихся рядом с ним в третичной. Для проверки этой гипотезы предстояло изучить окружение триптофана в трехмерных структурах, в первую очередь — окружение индольного атома азота, к которому присоединяется группа NO. Мы подозревали (как увидим, не напрасно), что при грубом анализе — с разрешением, сравнимым с размером целого остатка, самое интересное заметить не удастся.

Известные трехмерные структуры белков хранятся в базе данных в виде файлов стандартного формата, что позволяет анализировать их с помощью компьютера. Каждому атому белковой молекулы в таком файле соответствует строка с указани-

ем номера остатка в первичной структуре, аминокислоты (одна из 20), имени атома (у каждой из 20 аминокислот конкретные атомы имеют собственные имена, например, индольный атом азота триптофана — TRP NE; общее число разных атомов всех 20 аминокислот — 159) и трех его координат (X, Y, Z в декартовой системе) с точностью 0.01 Å. Аналогично указаны координаты атомов веществ, включенных в кристалл белка, например, молекул воды. Согласно гипотезе, рядом с атомами TRP NE должны быть повышенные концентрации атомов O, N и S, принадлежащих функциональным группам, способным катализировать денитрозирование. Напротив, концентрация атомов углерода гидрофобных групп (например, метильных H₃C-) должна быть ниже, чем в среднем по структуре. Загвоздка была в том, чтобы определить, что считать «рядом» и в чем измерять концентрации.

Для наших целей близко стоящая группа должна иметь возможность взаимодействовать с индольным фрагментом или с присоединенной к нему группой NO (благодаря таким взаимодействиям и происходит катализ). При этом важно, чтобы ничто не мешало. А помешать могут атомы других групп, находящиеся **между** теми двумя атомами, взаимодействие которых нам интересно (например, TRP NE и O карбоксильной группы глутаминовой кислоты — возможного катализатора денитрозирования). Значит, нас особо интересуют случаи, когда «между» ними ничего нет. Ясно, что «между» TRP NE и *ближайшим* к нему атомом уж заведомо нет ни одного атома (иначе он бы и был ближайшим). Таким образом, нас интересуют расстояния между соседями в контексте расстояний до других соседей.

С учетом этих соображений и был предложен алгоритм анализа третичных структур, названный «методом ближайших соседей» [6]. В файле каждой из

исследуемых структур необходимо найти строки интересующих нас атомов (например, TRP NE) и их координаты, по теореме Пифагора упорядочить расстояния от них до других атомов в порядке возрастания, так что соседние атомы получают порядковые номера: ближайший сосед — 1, чуть более удаленный — 2, и т.д. В результате для каждого атома TRP NE получается таблица: номер соседа в порядке удаления — имя атома (одно из 159 собственных имен). Прделав такую процедуру для большого числа структур, можно выявить, какие соседи «любимы», а какие нежелательны. Действительно, если атомы в молекуле белка распределены случайно, вероятность занять любое место в таблице одинакова; если какие-то атомы чаще находятся рядом с TRP NE, у них чаще будут малые номера, так как они чаще будут в числе ближайших соседей, и т.д.

Татьяна Сунцова написала компьютерную программу, позволяющую находить в файлах определенные атомы определенных остатков аминокислот, и для каждого из них — *n* ближайших соседних атомов в порядке возрастания расстояний до них. Атомы выбранного остатка (в нашем случае — атомы *того же* остатка триптофана) в расчет не принимались. Далее анализировалось распределение атомов по порядковым номерам.

Анализ показал, что у индольных атомов азота окружение действительно в среднем существенно гидрофильнее, чем можно было ожидать, исходя из классических теорий строения белков, и даже более гидрофильное, чем среднее по структуре: чаще всего соседом индольного азота остатков триптофана в нативных белках был... кислород молекулы воды. Естественно, возникал вопрос — почему такую особенность не заметили раньше? Предположив, что в современных белках остатки триптофана ориентированы асимметрично и при анализе

положения *центров* индольных систем эффект становится мало-заметным, проанализировали окружение других атомов остатков триптофана. Оказалось, окружение всех остальных атомов более гидрофобно — в полном соответствии с принятыми теориями (рис.3).

Сами полярные остатки, окружающие индольный атом азота триптофана, представлены неравномерно: чаще встречаются функциональные группы, способные активировать денитрозирование, реже — группы, необратимо разрушающиеся при действии оксидов азота. Та-

ким образом, почти весь индольный фрагмент обычно расположен в гидрофобной фазе, в гидрофильную фазу вынесен лишь атом азота («морковка на грядке»).

Обнаруженная преимущественная ориентация остатков триптофана (атом азота индольной системы окружен полярными и каталитически активными группами, а противоположный край — гидрофобными) позволила предложить механизм участия остатков триптофана во внутримолекулярном нитрозировании-денитрозировании белков (рис.4). При ми-

целлярном окислительном нитрозировании, когда нитрозирующие агенты образуются из NO и O₂ внутри гидрофобных фаз, углеродные атомы, погруженные в гидрофобную фазу, должны атаковаться эффективнее, чем атом азота в более гидрофильном окружении. Если производные триптофана нитрозируются через C³-атом и внутримолекулярная перегруппировка ON-C³ → ON-N определяет скорость образования нитрозо-триптофана, высокие его концентрации в белках (желтые белки) будут лишь в случаях, когда никаких других, помимо

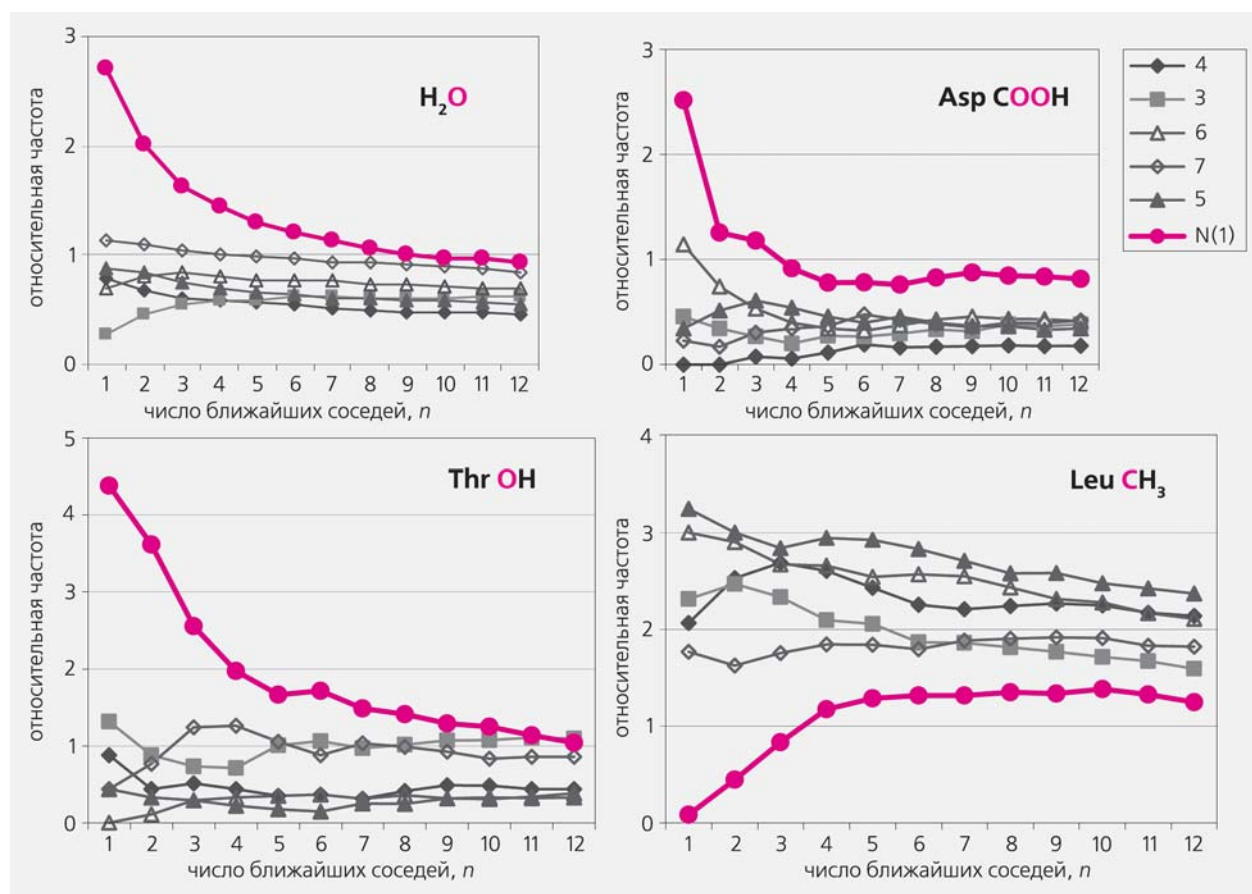


Рис.3. Асимметрия окружения остатков триптофана в белках млекопитающих. Для высокоразрешенных структур белков (человек, мышь и крыса — всего 316) определено окружение отдельных атомов индольной структуры. На врезке даны символы кривых, относящихся к атомам углерода, номера которых обозначены цифрой (см. рис.1). Кривая, относящаяся к азоту, выделена цветом. Показана относительная частота встречаемости атомов кислорода молекул воды (H₂O), аспарагиновой кислоты (Asp COOH) и гидроксильной группы треонина (Thr OH), а также атомов углерода метильных групп лейцина (Leu CH₃) в зависимости от числа учитываемых ближайших соседей (n). Средняя по структурам частота для каждого типа атомов принята за 1. Видно, что ближайшее окружение индольного атома азота (именно с этим атомом связана NO-группа в NOW) уникально, но с ростом n эффект быстро слабеет.

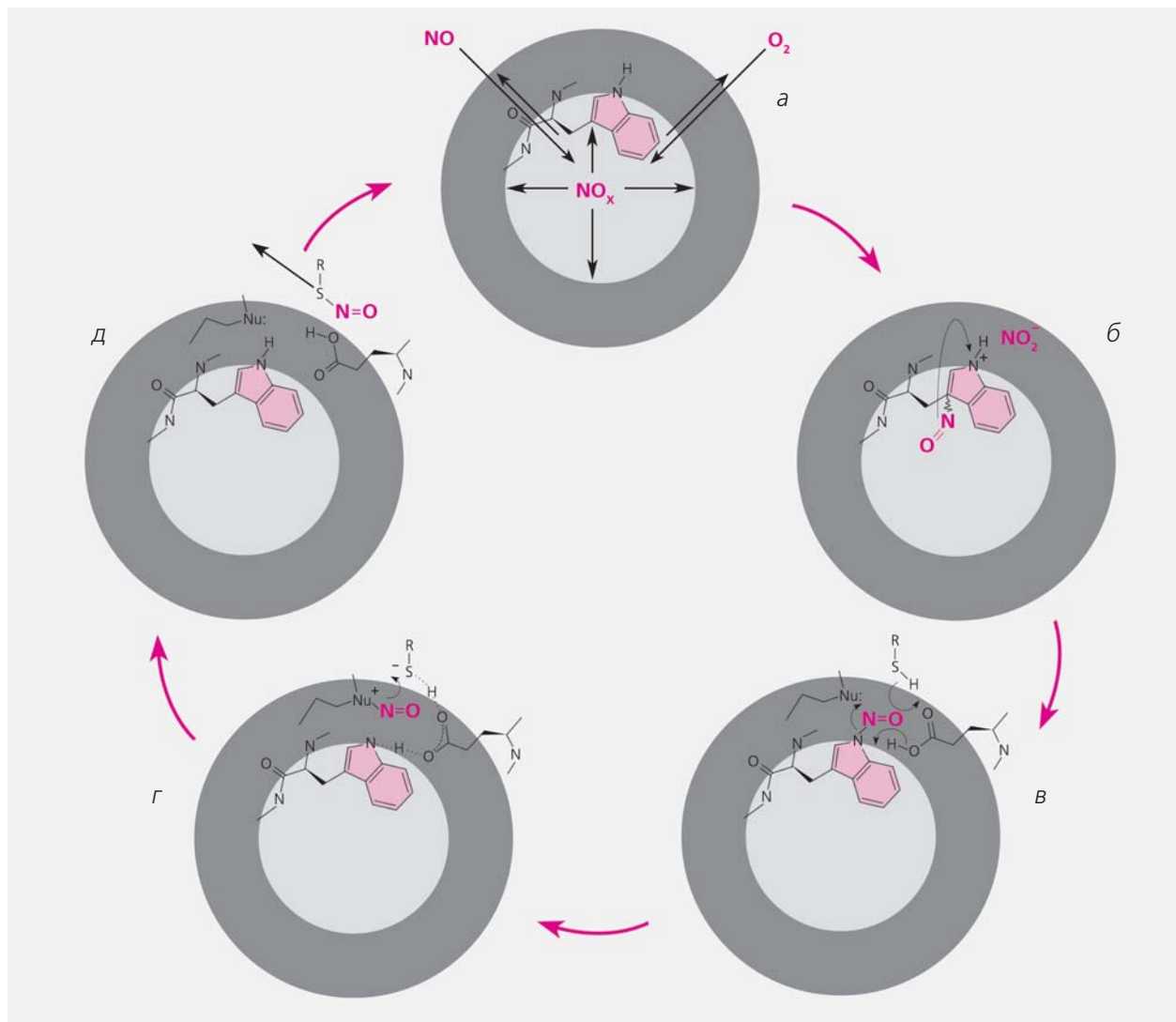


Рис.4. Механизм мицеллярного нитрозирования-денитрозирования остатков триптофана в белках. а — остатки триптофана преимущественно расположены в гидрофобных ядрах глобулярных белков (центральный круг), атом азота индольной системы вынесен в гидрофильную фазу («морковка на грядке»). Гидрофобный кор служит преимущественным местом окисления NO и генерации высших оксидов азота (показаны в виде NO_x), являющихся нитрозирующими агентами. Как и в случае низкомолекулярных производных триптофана, первоначально атакуется С³-атом индольной системы, находящийся в гидрофобной фазе. б — образующееся С-нитрозопроизводное нестабильно и перегруппировывается в более устойчивый N-нитрозотриптофан; один моль («половинка» молекулы N₂O₃) покидает белковую глобулу в виде нитрита. в — нитрозогруппа присоединилась к атому азота индольной системы на место протона, покидающего молекулу (в виде азотистой кислоты). г — боковые группы аминокислотных остатков самой молекулы белка катализируют денитрозирование. д — NO⁻-группа покидает белковую глобулу в виде нитрозотиола RSNO, молекула белка вернулась в исходное состояние со свободным остатком триптофана; каталитически активные группы готовы к участию в следующем акте денитрозирования.

С³, мишеней для нитрозиования в гидрофобных фазах нет, такая перегруппировка протекает быстро, а каталитически активное окружение TRP NE отсутствует. Если же катализ де-

нитрозиования обеспечен, NOW возникает, но не накапливается: NO⁺ уходит в водную фазу и превращается в нитрит, который в отсутствие кислот не может быть нитрозирующим

агентом. Это и смещает равновесие в сторону нитрозиованного триптофана. Принципиально, что денитрозирование не требует дополнительных источников энергии.

Таким образом, если для большинства белков механизм денитрозирирования отдельных остатков встроен в их структуру, остатки, лишенные такого механизма, становятся молекулярными мишенями приема сигнала, передаваемого NO в присутствии кислорода (формально — иона NO⁺), и ячейками хранения информации (в виде нитрозированного белка). В считывании или «стирании» информации могут участвовать «внешние» химические сигналы, например нейропептиды, содержащие каталитически активные остатки аминокислот.

Сара—Сюзанн

К тому времени, когда статья о защите триптофана от нитрозирирования увидела свет (2002), стало ясно, что в гетерогенных средах роль свободнорадикальных модификаций, вызываемых оксидом азота, гораздо существеннее, чем при тех же концентрациях NO в водных растворах. Как окислитель, диоксид азота (NO₂) способен «отрывать» атомы водорода от самых разных органических соединений, включая и индольный фрагмент триптофана. Сара Гольдштейн и ее коллеги из Иерусалимского университета показали, что даже в водных растворах нитрозирирование (тем более нитрование) протекает с участием NO₂ и свободных радикалов [7]. Хотя триптофан они не исследовали, выводы приложимы и к нему. Принципиально, что радикальные реакции обычно неспецифичны — NO₂ достаточно активен, чтобы оторвать любой атом водорода индольного фрагмента. Образующиеся при этом свободные радикалы могли бы реагировать не только с NO, но и с другой молекулой NO₂, давая смесь изомерных **нитротриптофанов**. Парадоксально, сведения о нитровании триптофана белков под действием оксидов азота были поразительно скупы, хотя нитрованием тирозина за-

нимались очень активно (накопление нитротирозина в белках обычно связано с какими-либо патологиями). Про нитрование самого триптофана и его низкомолекулярных производных было известно, что он нитруется азотной кислотой, оксидами азота или пероксинитритом. Считалось, что преимущественно замещается атом водорода в положении 6, что плохо согласуется с участием свободных радикалов. Частой причиной отсутствия *наблюдаемых* изомеров является сходство их свойств, мешающее их различить.

Парадокс «отсутствия изомеров» начал рушиться с выходом статьи Сюзанн Херольд [8]. Она изучала нитрование тирозина под действием нитрита и перекисей в присутствии миоглобина. «Попутно» был исследован и триптофан. Оказалось, образуются по крайней мере четыре изомерных нитротриптофана: 4-, 5-, и 6-изомеры были выделены хроматографией. Еще два вскоре были найдены итальянскими биохимиками. Парадокс разрешился — триптофан нитровался, как и следовало ожидать от свободно-радикального процесса, с образованием смеси изомерных продуктов.

Парадоксы — как головы скажочных драконов: на каждую срубленную вырастает две (как минимум) новых. В случае нитротриптофанов эти новые были один другого краше:

Первый — обнаружился бактерии, синтезирующие токсичный пептид, содержащий *только* 4-нитротриптофан. Бактерии, конечно, могут многое, но как заставить триптофан нитроваться в определенное положение?

Второй — что же происходит с нитротриптофанами (как и нитротирозинами) в белках: они ведь тоже желтые. В отличие от ситуации с NOW, нитрогруппа не может быть удалена гидролизом (химики используют понятие «плохая уходящая группа»)?

Третий — почему пептид, содержащий нитротриптофан, токсичен, если триптофан непрерывно нитруется в белках? Или в норме он все-таки не нитруется?

С первым разобрались, и решение оказалось в высшей степени неожиданным: бактерии нитруют триптофан с помощью... бактериальной NO-синтазы — фермента, аналога которого в клетках млекопитающих синтезируют NO. Выяснились захватывающие детали процесса, рассказать о которых здесь не удастся. Со вторым и третьим (они оказались взаимосвязаны) все много сложнее, но и здесь есть прогресс. Об этом — в другой раз.

Кэрл

*Над Канадой небо синее,
Меж берез дожди косые...
Хоть похоже на Россию,
Только все же не Россия.*

А.Городницкий

В современных биохимических исследованиях гель-электрофорез — один из наиболее мощных, чувствительных, информативных и распространенных методов анализа, в том числе белков и их смесей. В такой смеси может быть несколько десятков, а то и сотен разных белков — например, из образца крови или ткани, подозреваемой на наличие какой-нибудь опухоли или аномального белка, связанного с патологией. Обычно для анализа смеси белков крошечную каплю (часто — 5 микролитров; объем обычной капли воды — около 25 мкл) наносят на тонкий (1 мм) слой полиакриламидного геля (искусственный полимер, внешне весьма похожий на желе или мармелад; на молекулярном уровне это трехмерная сетка с ячейками, линейные размеры которых немного больше размеров молекул белка). Для удобства обычно гель зажат между двумя прямоугольными стеклами. К краям геля (на противопо-

ложных краях стекол) подается постоянное электрическое напряжение, при этом заряженные молекулы белков начинают перемещаться по гелю между стеклами. Скорость миграции зависит от заряда и «сопротивления среды», задаваемого обычно линейными размерами молекул белка (чем крупнее молекула, тем труднее протискиваться между ячейками сетки, т.е. тем ниже скорость). Поскольку у одинаковых молекул скорость миграции одинакова, через некоторое время первоначальная смесь белков разделяется на зоны: самые мелкие белки пробежали уже весь гель, самые крупные едва сошли со старта. Для массового анализа на один гель можно одновременно нанести несколько десятков образцов, например плазмы крови заведомо здоровых нормальных людей и пациентов, подозреваемых на наличие каких-то патологий, связанных с необычным составом белков. Если после проведенного разделения каким-либо образом «покрасить» белки (для этого стекла придется разъединить и гель окунуть в краску), получим серию параллельных дорожек (у каждого образца своя дорожка), испещренных поперечными полосками — каждая полоска соответствует определенному белку, нанесенному на старт на этой дорожке.

При анализе смесей, содержащих сотни—тысячи белков, приходится отказаться от множества дорожек: иначе полосок после разделения окажется так много, что они будут перекрываться и дорожка покрасится целиком. Для каждого такого образца используют отдельный гель («двумерный форе́з»). Анализируемую смесь сначала разделяют по собственному заряду молекул белков, потом, в перпендикулярном направлении, — по молекулярной массе. Фотография такого геля позволяет выявить даже единственный «неправильный» белок — из-за различий по заряду и/или размеру он окажется не там, где

следует. Если какого-то белка аномально много или мало, соответствующее пятно при прокраске будет необычайно ярким или, наоборот, слабым. После разделения и обнаружения белков из геля можно вырезать зону с любым интересующим белком (например, окрашенное пятнышко, оказавшееся «не там, где надо») и с помощью масс-спектрометра определить, что это за белок, чем отличается от «нормального» и т.д.

Ясно, что чем «ярче» краска, которой красили гель, тем выше чувствительность анализа: количество белков в образце измеряется нанограммами (10^{-9} г). Важно, чтобы окрашивались только белки, но не сам гель. Не надо объяснять, что поиску оптимальных методов «покраски» уделяется первостепенное внимание.

В стандартной процедуре, найденной после многих лет всемирных поисков, гель вымачивают в растворе темно-синей краски Кумасси, хорошо прилипающей к белкам, а потом несколько часов отмывают избыток краски, купая гель в периодически сменяемом растворе уксусной кислоты, пока сам гель не станет совершенно бесцветным, а синие полосы зон, где находятся белки, не станут заметны. При этом собственно на форе́з уходит меньше времени, чем на прокраску и отмывку.

В развитых странах гелелектрофорез — непреходящий атрибут диагностики и контроля лечения для любых уважающих себя госпиталей, клиник, женских консультаций и т.д., для всяких служб контроля качества продуктов, не говоря уж о собственно научных исследованиях. Средства, расходуемые в мире на разработку и производство аппаратуры, реактивов, программ для анализа результатов, на оплату труда всех тех, кто проводит эти анализы и их интерпретирует, исчисляются миллиардами долларов. Ясно, что ускорение процедуры даже на несколько процентов дает экономический эффект, исчисляе-

мый процентами от этих миллиардов. Что можно сказать про экономический эффект открытия, отменившего за ненадобностью прокрашивание — самую продолжительную стадию электрофоретического анализа белков?

На юбилейную конференцию IUBMB/FEBS (Международный союз биохимиков и молекулярных биологов / Федерация европейских биохимических обществ) в Будапеште, где и произошла встреча с Кэрлом, мы попали не без труда. В принципе РФФИ предоставляет гранты для поездок на конференции (естественно, грантов гораздо меньше, чем потенциальных участников). По правилам РФФИ получить такой грант можно лишь раз в году, мы же воспользовались своим правом раньше. Руководство FEBS и организаторы разумно предусмотрели, что представителям стран с нищей наукой такие поездки не по карману, и учредили беспрецедентно большое число грантов для молодых ученых. (Более трети грантов досталось ученым из стран бывшего СССР. Представители России «победили» с большим отрывом, получив 13 грантов, Украины — девять, Венгрии — семь, остальные — не более четырех.) Наталья подала заявку, но гранта ей не досталось. Помимо финансовых проблем, поездке препятствовали всякие срочные дела и обстоятельства. Известно, что сопротивление среды и генерация неожиданных препятствий пропорциональны логарифму важности результата, достижению которого эти препятствия мешают (видимо, это частный случай Закона Наилбольшей Подлости — далее ЗНП, известен также как закон бутерброда и закон Паркинсона). Когда количество препятствий превысило все разумные рамки, мы поняли, что пусть даже поездом, но ехать надо.

Превосходно организованная конференция проходила в новом здании Будапештского

университета. Для помощи участникам были рекрутированы местные студенты, облаченные в желтые футболки с надписью «Your Help» (наши студенты могли бы им позавидовать: уникальная возможность приобщиться к последним новостям науки и встретить чуть ли не весь «ученый мир», не выходя из стен родного университета, выпадает не всем). Студенты отвечали на вопросы участников и регулировали их перемещения в поисках аудиторий.

По прибытии всем участникам конференции выдали по кожаной сумке с именной биркой на шею (абы незнакомые участники могли разыскать друг друга и встретиться), программой и буклетом с тезисами докладов. Поскольку конференция была юбилейная, с необычайно широкой программой — «Белковый мир», — буклет представлял собой увесистый том из 650 страниц с четырьмя тезисами на каждой. Задача — просмотреть тезисы заранее, чтобы решить, куда идти, — была не из легких.

Если вы ломаете голову над парадоксами триптофанильных радикалов, любое упоминание триптофана, встреченное в названии тезисов, заставляет вас насторожиться. Modification of tryptophan residues with trihalocompounds and its application to protein chemistry. Модификация триптофанильных остатков?! Тригало... — это что, хлороформ, что ли?? Применение в химии белка?.. Фамилия Ladner с инициалом С. ни о чем не говорила, аффиляция — Университет Калгари, Канада, вызвала разве что попытку вспомнить, где же этот Калгари расположен — вместе с песней А.Городницкого (см. эпиграф) в памяти возникли какие-то горно-лыжные ассоциации.

Чтение тезисов мало что прояснило, но заинтриговало окончательно. Сообщалось, что канадская группа исследует новые возможности химии триптофана, которые могут быть полезны для биохимии; что осно-

вополагающее открытие — фотохимическая реакция между триптофаном и хлороформом (CHCl_3), приводящая к флюоресцирующему продукту. Для нас это было совсем новым, непонятным и подозрительным: во-первых, триптофан — не какая-то диковина, а распространенная аминокислота, присутствующая в большинстве белков; хлороформ — популярный растворитель, более 100 лет используемый в биохимии, в том числе при выделении белков. Если они вдруг реагируют, да еще образуя флюоресцирующий продукт, как этого не заметили раньше? Во-вторых, хлороформ применяют для наркоза: возможно ли это, если он реагирует с триптофаном? Пишут, что реакция фотохимическая — может, у них какой-нибудь суперлазер с вакуумным ультрафиолетом? Конечно, «внутри» у нас довольно темно, но не абсолютно же: фонарик ладонью закрыть — и то кровь просвечивает. Что уж говорить про реакцию на коже при прогулках под солнцем? Почему продукт единственный — если это фотохимическая радикальная реакция, должно быть как при нитровании — смесь изомеров? Или там еще какой-нибудь фокус, как в бактериальной NOS?

Дальше — больше: *различные галогенсодержащие соединения могут использоваться для введения необходимых групп в триптофан, что позволяет избирательно модифицировать доступные остатки триптофана в белках*. Т.е. хлороформ не уникален и дело не в нем!? Доступные остатки триптофана, т.е. для хлороформа доступны одни, а для какой-нибудь хлоруксусной кислоты — другие? Чем эта доступность определяется — соответствием пространственных структур?

С использованием этой триптофановой химии предложен метод быстрой визуализации белков при электрофорезе. Показано, что метод перспективен для протеомных иссле-

дований и позволяет идентифицировать белки масс-спектрометрией. Дальше речь шла о возможности определить положение белков в клетке, их ориентацию относительно мембраны и топологию — словом, высококонцентрированный рекламный продукт, разве что без упоминаний о лечении рака. По мере размышлений желание прийти к постеру этого Ладнера росло и в конце концов стало приоритетным пунктом плана очередного дня конференции. По упомянутому уже ЗНП, оба наших постера демонстрировались в то же время, причем на разных этажах и довольно далеко друг от друга. (Понимающим глубинный смысл ЗНП это подсказывало, что к постеру Ладнера надо не просто идти — бежать!)

...Перед искомым постером одиноко стояла какая-то девчонка (с виду — ровесница Натальи), но не из местных студентов (те были в желтом). Большой постер сразу производил впечатление добротности: уравнения реакции с серьезной химией, эксперимент, таблицы, графики... Я взглянул на девчонку — мол, надо же — интересуется такой химией, интересно, откуда она. На шее у нее висела бирка — Carol Ladner, Canada (?!). Переведа дух, я углубился в постер. Кэрл комментировала. Все оказалось как в тезисах: действительно, при облучении ультрафиолетом триптофан активируется и реагирует с хлороформом, а продукт реакции обладает яркой флюоресценцией.

«Да это же ваша русская группа открыла, Воробей, кажется...» — Кэрл пыталась вспомнить фамилии авторов и смотрела с некоторым недоумением — как можно не знать такой работы. К своему стыду, ни автора по фамилии Воробей, ни его работ я не знал*.

* А.В.Воробей и С.В.Пинчук — авторы основополагающей работы — оказались, как выяснилось уже в Москве, белорусскими биофизиками, по сей день работающими в Минске.

Лаборатория университета Калгари, студенткой (по нашей таблице о рангах — аспиранткой) которой была Кэрол, занялась серьезным изучением этой реакции. Выяснилось, что вместо хлороформа можно использовать чуть ли не любые R-CX₃ (X — галоген). Флюоресцирующие продукты были выделены и исследованы. Оказалось, хлора они, как правило, не содержат: после присоединения остающиеся атомы хлора теряются, предполагали, из-за гидролиза.

Да, они нашли способ не красить гели после фореа. Первоначально вместо краски Кумасси гель замачивали в растворе хлороформа (хлороформ плохо растворим в воде, но большая концентрация и не требовалась) и облучали. Через несколько минут, раньше, чем в общепринятом варианте с Кумасси начинается многочасовая отмывка от краски, в их методе белки в геле начинали светиться и становились видимыми без всяких красок. Позже Кэрол начала использовать вместо хлороформа трихлорэтанол (CCl₃CH₂OH), добавляя его при приготовлении геля. Он растворим в воде, молекула незаряжена, и во время фореа с ним ничего не происходит. После фореа гель освещают несколько минут ультрафиолетом — просто кладут на хромоскан (приспособление для рассматривания гелей и хроматограмм: фонарь с ультрафиолетовой лампой и темным экраном из кварцевого стекла, пропускающим ультрафиолет, но задерживающим весь видимый свет). Триптофан возбуждается, трихлорэтанол пришивается, и белки начинают светиться из-за образующихся флюоресцирующих продуктов. Там, где нет белков, светиться нечему — при фотографияровании получают светящиеся полоски на черном фоне [9].

Представьте себе, что в фойе незнакомого университета вы встречаете девчонку, читающую белорусских авторов (журнал «Биофизика» переводится на

английский, по-русски Кэрол не читает пока), умеющую рассмотреть между строк то, чего не видели или не понимали их коллеги в течение 20 лет (реакция триптофана с хлороформом была открыта А.Воробьем в 1982 г.), и способную воплотить увиденное в работающий, остро необходимый метод исследования. Метод, экономический эффект от которого может превысить годовой бюджет на финансирование фундаментальных исследований на родине автора открытия. Родины, ныне распавшейся на 15 независимых государств. Даже после обещанных улучшений финансирования науки. По мере того, как до вас доходит, что, собственно, кроется за упомянутым в тезисах «применением в химии белка», парадоксом уже кажется, что вы вообще смогли ее просто так встретить, — одну, без толпы репортеров, менеджеров служб подбора персонала фармацевтических фирм и медицинских корпораций, собирателей автографов, поклонников и телохранителей.

Некоторые наши научные начальники любят объяснять, что западные ученые не читают наших работ по причине пережитков холодной войны и происков мировой закулисы. Если вам встретится такой, расскажите ему эту историю.

Эпилог

«Россия дала мне глубокое разностороннее образование, но время было такое, что реализовать свои научные идеи я смог только в Америке».

В.К.Зворыкин
(изобретатель телевидения)

Каждое серьезное открытие порождает больше вопросов, чем дает ответов, и триптофановая фотохимия, конечно, не исключение. В связи с работами по биохимии оксидов азота нас занимал вопрос об устойчивости в организме перфторорганических соединений, используемых в медицине. Не так давно мы об-

наружили, что перфтороктилбромид C₈F₁₇Br, применяемый для искусственной вентиляции легких и в качестве основы кровезаменителей, может под действием витамина B₁₂ терять атом брома, образуя радикал, который удалось зафиксировать с помощью флюоресцирующей мишени [10]. Наличие атома брома принципиально — перфторуглеводороды (C_nF_m) в реакцию не вступают*. Важность этого открытия для практической медицины и фармакологии осталась неопределенной: в организме витамина B₁₂ — меньше миллиграмма; в восстановленной форме он входит в состав ферментов, возможно, в недоступных для C₈F₁₇Br компартаментах; надо еще доказать, что C₈F₁₇ радикал, образующийся, очевидно, в микроколичествах, способен причинить какой-то серьезный вред здоровью, в то время как польза от кровезаменителей или искусственной вентиляции сомнений не вызывает...

У нас сомнения появились после обстоятельного знакомства с работами, присланными Кэрол и ее научным руководителем профессором Тюрнером (R.Turner) уже из Канады: аналогия C₈F₁₇Br с хлороформом, трихлорэтанолом и другими испытанными ими соединениями была совершенно очевидна. Трифторуксусная кислота (CF₃COOH — популярный компонент растворителей для жидкостной хроматографии, имеющийся в любой лаборатории) была уже испытана и оказалась неактивной, но атома брома в ней нет. Не будет ли триптофан реагировать на свету с C₈F₁₇Br? Если в этой триптофановой фотохимии действительно образуется сольватированный электрон, если одновалентный кобальт (действующее начало в случае B₁₂) — очень сильный восстановитель, но все же уступающий сольватированному электрону, способен вырвать атом

* Недоспасов АА, Беда НВ. «Перфторан»: революционная комбинация // Природа. 2005. №8. С.33—39.

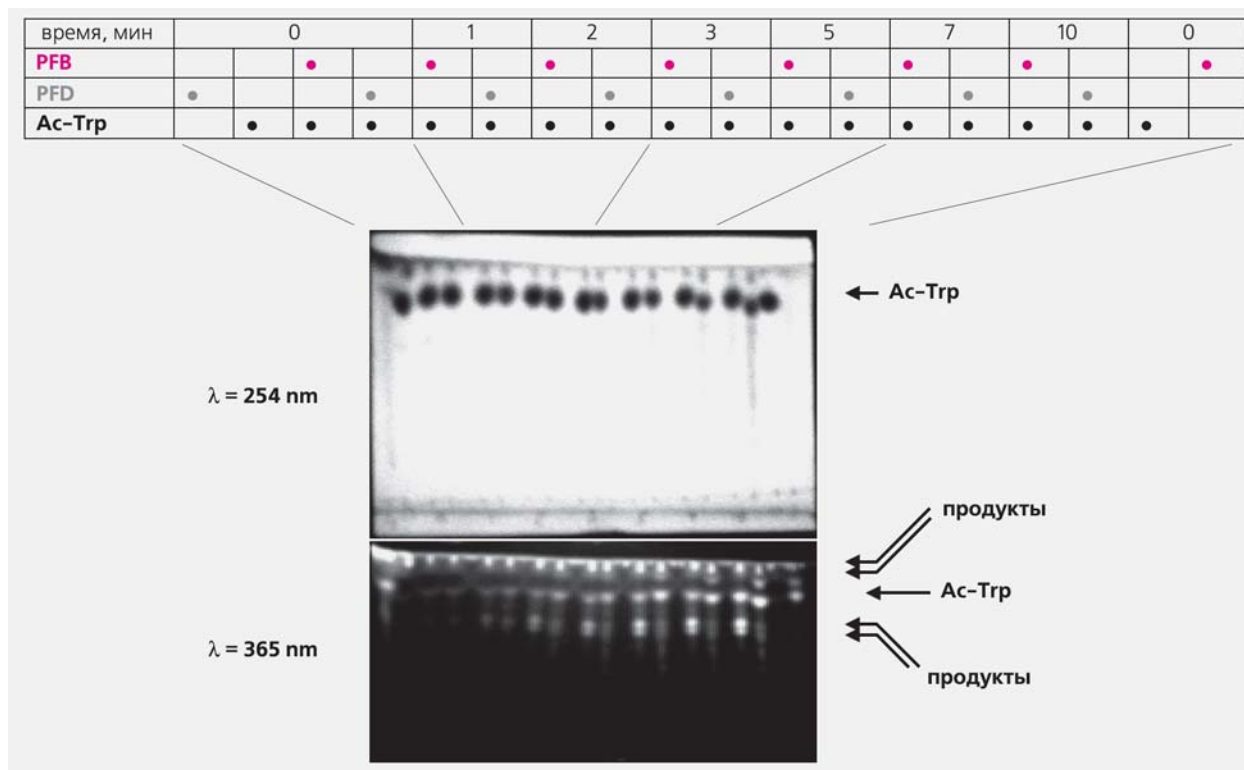


Рис.5. Хроматограмма реакционных смесей ацетилтриптофана с ПФБ и перфтордекалином (ПФД). Сверху указано время реакции. Внизу: хроматограмма облучается длинноволновым УФ, вызывающим флюоресценцию продуктов реакции. Видно, что в реакции с ПФБ появляются два новых продукта ниже исходного ацетилтриптофана. Вверху: та же хроматограмма, облучаемая коротковолновым УФ. Флюоресцирует сорбент, виден только исходный ацетилтриптофан, поглощающий УФ.

брома из $C_8F_{17}Br$, если никаких фокусов и неожиданностей не появится, триптофан должен реагировать на свету с $C_8F_{17}Br$ так же, как с хлороформом. От этих размышлений становилось не по себе: триптофана в любом из нас в миллион раз больше, чем витамина B_{12} , хлороформ при наркозе остается в организме несколько часов, а $C_8F_{17}Br$ при практикуемых методах его применения — несколько месяцев... Различия — на порядки. Предположить, что озон атмосферы поглощает ультрафиолет, необходимый для возбуждения триптофана, с такой фантастической эффективностью, нельзя: за счет чего бы мы спасались от рахита, загорали, да и зачем вообще нужен был бы загар? (Кислород, азот, углекислый газ и пары воды совершенно не поглощают ультрафиолет, возбуждающий триптофан.) Ситуа-

ция стала по-настоящему парадоксальной: нельзя понять, ни как они могут не реагировать, ни как можно жить с сотнями грамм $C_8F_{17}Br$ внутри, гуляя под солнцем, если реагируют.

Очевидное желание — немедленно проверить: это не разрешит сомнений, это приведет к новым парадоксам, но ради них мы, в сущности, и работаем. В согласии с ЗНП, для такого эксперимента необходимы соответствующие обстоятельства. Они были налицо: официально институт был закрыт на два летних месяца в связи с ремонтом (это не мешало нескольким десяткам сотрудников работать ежедневно — формально они были в отпуске); в лаборатории отключили воду (меняли трубы); компьютерную программу, используемую при фотографировании и анализе хроматограмм,

испорченную вирусом, до сих пор не поставили заново; не было источника УФ, и было неизвестно, где его искать; в Москве было очень жарко, а кондиционера, естественно, тоже не было, и много чего еще было и не было — достаточно, чтобы начать.

Через минуту в холодильнике были найдены ацетилтриптофан (производное триптофана, к аминокетильной группе которого присоединен остаток уксусной кислоты, CH_3CO-) и $C_8F_{17}Br$, через три минуты были готовы растворы, через пять в соседней лаборатории обнаружился хромоскан, аналогичный использованному Кэрлом в ее экспериментах по визуализации гелей без прокрашивания. Вообще-то подобрать условия реакции — дело небыстрое, но эта, с ПФБ, якобы абсолютно инертным в организме, с учетом того, что мы узнали от

Кэрол, должна была идти без особых ухищрений. Если белки в гелях Кэрол начинали сиять после пяти минут облучения на хромоскане, тут должно быть не хуже. Экран хромоскана был накрыт тонкой полиэтиленовой пленкой, на которую и нанесли капли образцов — индивидуальные компоненты и их комбинации. Через пять минут слегка пожелтевшие при облучении образцы перенесли на пластинку для хроматографии, но результат был уже виден невооруженным глазом: при наблюдении «сбоку», так, что УФ не попадает в глаза, было заметно, что капли, содержащие ацетилтриптофан с хлороформом, с трихлоруксусной кислотой и с $C_8F_{17}Br$, сияют собственной флюоресценцией, а образцы с $C_{10}F_{18}$ (перфтордекалин, ПФД — обычный компонент кровезаменителей) и с ацетилтриптофаном без всяких добавок — нет. Еще через полчаса можно было рассмотреть хроматограмму — в образце с $C_8F_{17}Br$ и ацетилтриптофаном ниже исходного ацетил-Трп сияли два (!) новых пятна, заметно различающиеся цветом флюоресценции; нигде больше этих пятен не было. Дополнительные пятна появились и в самом верш хроматограммы. Судя по всему, триптофан реагировал с ПФБ. Эксперимент тут же повторили в более аккуратном дизайне: капли на пленке сменились кварцевыми кюветами с растворами известной концентрации, что позволило проследить за ходом реакций во времени.

Следствием из ЗНП и каких-то других фундаментальных за-

конов служит наблюдение, что если вы, несмотря на все препятствия и осложнения, все же поставили эксперимент, Фортуна может повернуться к вам лицом и сделать подарок дополнительно к результату эксперимента. В нашем случае выяснилось, что у Димы (аспиранта соседней лаборатории) случайно оказался цифровой фотоаппарат, так что хроматограммы тут же удалось сфотографировать на память, несмотря на вирусную атаку нашего компьютера (рис.5).

Простое рассматривание этих хроматограмм оказалось ключом к новым открытиям и парадоксам: если ПФБ просто присоединяется к индольному фрагменту триптофана с отщеплением атома брома, как следовало из принятого механизма, весь C_8F_{17} -радикал должен оказаться в составе флюоресцирующего продукта реакции, и он должен быть гораздо более гидрофобным, чем исходный ацетилтриптофан. В нашей системе для хроматографии более гидрофобные вещества обычно располагаются выше. Два главных продукта, образовавшихся в реакции с ПФБ и отсутствующие в реакции с ПФД, были ниже, чем исходный Ас-Трп. С большой долей вероятности это означало, что после присоединения большая часть C_8F_{17} -фрагмента отрывается и начинает самостоятельную жизнь. Этот вариант выглядел откровенно неприятным — мы знали, что $C_6F_{13}COOH$ (возможный продукт реакции) и ее гомологи изучаются токсикологами в связи с канцерогенностью.

И опять все тот же парадокс: для постановки этого предельно простого эксперимента потребовалось ждать, пока родятся, вырастут, закончат университеты и в силу совершенно уникального стечения обстоятельств, вопреки всем препятствиям, встретятся в Будапеште две девчонки — одна из России, другая — из Канады. Для скольких леченных ПФБ пациентов или работников фабрик химической чистки одежды эта встреча состоялась слишком поздно? Сколько столь необходимых и столь маловероятных встреч не состоялось, и соответствующие эксперименты не были поставлены из-за нищеты нашей науки и прочих реалий нашего бытия? Сколько потенциальных участниц не имели возможности учиться в школе у квалифицированных учителей, соответствующих их способностям, не смогли продолжить образование по окончании школы из-за бедности, пьянства или отсутствия родителей, не поступили в университет или были отчислены по причине коррупции, уехали из страны или ушли в бизнес по окончании университета, не имея жилья и каких-либо надежд его получить, уволены из научных лабораторий в связи с предполагаемой беременностью или рождением детей, вынуждены сидеть дома из-за отсутствия доступных детских садов приемлемого качества?

Слова Зворыкина, вынесенные в эпиграф, относились к началу XX века. Не пора ли настать другим временам? ■

Литература

1. *Castro A., Iglesias E., Lies J.R., Pena M.E. et al.* // J. Chem. Soc., Perkin Trans. II. 1986. P.1165—1168.
2. *Nedospasov A.A.* // Biochemistry (Moscow). 1998. V.63. P.744—765.
3. *Beda N.V., Suntsova T.P.* // FEBS Lett. 1999. V.453. P.229—235.
4. *Nedospasov A., Rafikov R., Beda N., Nudler E.* // Proc. Natl. Acad. Sci USA. 2000. V.97. P.13543—13548.
5. *Beda H.B., Nedospasov A.A.* // Мол. генет. микробиол. вирусол. 2001. №4. С.31—41.
6. *Suntsova T.P., Beda N.V., Nedospasov A.A.* // IUBMB Life. 2002. V.54. P.281—292.
7. *Goldstein S., Czapski G., Lind J., Merenyi G.* // J. Biol. Chem. 2000. V.275. P.3031—3036.
8. *Herold S.* // Free Radic. Biol. Med. 2004. V.36. P.565—579.
9. *Ladner C.L., Yang J., Turner R.J., Edwards R.A.* // Anal. Biochem. 2004. V.326. P.13—20.
10. *Beda H.B., Nedospasov A.A.* // Биохимия. 2003. Т.68. С.1697—1704.

Экология

Ущерб от плотин

Плотины, изменяя расход речных водотоков, в значительной степени нарушают состояние водной флоры и фауны: сокращается численность рыб-мигрантов, исчезает водная растительность, происходят изменения среды обитания водных микроорганизмов. К такому заключению после 20-летних исследований пришли эколог Х.Нильссон (С.Nilsson) с сотрудниками из Университета г.Умеа (Швеция).

Изучив современное состояние 292 крупных речных систем, за счет которых осуществляется орошение более 50% культивируемых земель, исследователи установили, что расход воды в 172 из них изменился в пределах от нескольких литров до 428% от первоначальных показателей. Уже двухпроцентного изменения расхода достаточно для нарушения всей экосистемы. В Европе, где всего три реки свободны от плотин, более 60% речных систем отнесены к разряду «сильно затронутых». Во Франции расход бассейна р.Одур остается почти неизменным, тогда как Рона, Гаронна и Дордонь испытывают значительные колебания водного режима. Наиболее неустойчивы к антропогенным воздействиям гигантские водные системы Африки и Амазонии. Самая худшая в мире ситуация складывается ныне от активного гидростроительства в Азии. Помимо возведения китайской плотины «Три ущелья»¹, высота которой к 2009 г. достигнет 181 м, сейчас разрабатываются проекты строительства более 70 плотин, преимущественно на Янцзы и Ганге. Нильссон с коллегами составили первую мировую

¹ См. также: Величайшее гидростроительство требует величайшей осторожности // Природа. 2005. №3. С.83–84.

карту, на которой показана степень ущерба, причиненного речным системам гидроэлектростанциями.

Science et Vie. 2005. №1053. P.35 (Франция).

Охрана природы

Истинная численность тигров в Индии

Официально считается, что численность тигров в Индии составляет 3500–3700 особей, но скорее всего их значительно меньше. Недостовверные сведения основаны на фальшивой информации, предоставляемой администрациями некоторых охраняемых территорий, например всемирно известного заповедника Сариска (штат Раджастан).

В.Вейнстекерс, генеральный секретарь Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, предложил Индии свою помощь в борьбе с браконьерами. Он подчеркнул, что преступники используют бедственное положение индийских крестьян, нанимая их для охоты на тигров и леопардов и контрабанды шкур животных в соседние страны.

Terre Sauvage. 2005. №208. P.50 (Франция).

Зоология

Пальмовый вор

Пальмовый вор (*Birgus latro*) — десятиногий рак, близкий родственник раков-отшельников, — обитает на тропических островах Индийского и западной части Тихого океана. Во взрослом состоянии живет на суше, но размножается в морской воде. Некоторое время назад он привлек внимание специалистов устойчивостью к радиоактивным осадкам, выпадавшим в период

атомных испытаний в Тихом океане, а недавно шведских биологов заинтересовало необычайно развитое обоняние животного.

Ранее считалось, что пальмовый вор питается свежими кокосовыми орехами (отсюда и название). Однако оказалось, что, несмотря на свои размеры (массу около 4 кг, длину до 32 см), этот рак неспособен расколоть скорлупу. Не подтвердились и сведения о том, что он влезает высоко на пальму, чтобы сбросить орех с дерева. На самом деле *Blatro* питается другими ракообразными, плодами растений рода *Pandanus*, содержащим расколотых орехов и органическим веществом грунта. Пищу находит по запаху даже на значительном расстоянии благодаря расположенным во внутренних частях антенн специализированным структурам; они родственны сенсиллам насекомых, однако сильно отличаются от органов обоняния других ракообразных. Исследователи полагают, что такая особенность пальмового вора обусловлена адаптацией к жизни на суше.

Sciences et Avenir. 2005. №697. P.28 (Франция).

Картография

Новая биполярная картографическая проекция

Институт полярных исследований им.Р.Скотта (Великобритания) разработал в 2005 г. новую биполярную картографическую проекцию. Поводом к ее созданию стала потребность в логотипе института. При этом требовалось сохранить ту же общую форму, которую имеет стандартная проекция Мольвейде, но сделать акцент на полярные области Земли без сильного искажения (деформации) площадей и контуров материков.

Проанализировав плюсы и минусы ряда уже давно используемых проекций (Галля, Фурнье и др.), картографы остановились на модификации поперечной проекции Мольвейде, в которой степень искажения площадей достигает 13%.

Основное отличие новой биполярной проекции — вполне удовлетворительная степень искажения (~38%) площади областей, лежащих к северу и югу от 60-х параллелей соответственно. Линейный масштаб по полюсам увеличен почти в два раза; общая форма проекции сохранена до 40-х параллелей, хотя сжатие по экваториальным областям делает их слабо заметными.

Поскольку новая проекция не обладает такими свойствами, как равновеликость, равноугольность, равноудаленность, она не имеет большой практической ценности. Ее назначение — наглядно показать особо значимое положение обеих полярных областей Земли одновременно.

Polar Record. 2005. V.41. №218. P.215–222 (Великобритания).

Экология

Песцы повинны в оскудении флоры

Флора островов Алеутской гряды может разительно отличаться даже на соседних островах, отстоящих друг от друга всего на несколько километров. На некоторых из них некогда обильная растительность сменилась сухой тундрой — таков результат обитания там песцов.

Как выяснили американские биологи и экологи из Службы США по рыбным ресурсам и дикой фауне, причина столь резких изменений — обеднение почв азотом и фосфором. Песцы, завезенные на некоторые из островов в конце

XIX в. русскими промышленниками пушнины, стали активно охотиться на гнездящихся там морских птиц, что в конце концов привело к исчезновению залежей гуано — их помета. Лишившись азотно-фосфорного удобрения, растительность на островах, где обитали песцы, оскудела.

Science et Vie. 2005. №1053. P.40 (Франция).

География

Проект «Дождь»

Международная группа ученых, в которую входят сотрудники Свободного университета Брюсселя (Бельгия), Университета Саламанки (Испания) и Университета им.Бен Гуриона (Израиль), проводят в Израиле, в пустыне Негев, эксперимент, которому дано название «Гешем», что в переводе с иврита означает дождь.

В основу эксперимента положен парадоксальный принцип — жара как оружие борьбы с засухой. Сам принцип прост: «островки жары» (участки, более прогретые по сравнению с соседними из-за своей повышенной засоленности или более темной поверхности) способствуют формированию мощных восходящих потоков, которые несут водяные пары на высоты, где они конденсируются и образуют облака. Хорошо известно, что в городских зонах температура воздуха может на 6°C превышать температуру соседствующих с ними сельских пригородов. Этот феномен приводит к увеличению осадков в соседних районах.

Исследователи намерены использовать этот принцип и создать в пустыне — пока на один год — «островок жары», используя материал темного цвета, применяемый для солнечных водогреев. Одна сторона островка длиной 2.5 км бу-

дет расположена на некотором удалении от морских берегов. Такое местоположение «островка жары» может сконденсировать морскую влагу и, следовательно, будет способствовать формированию ежедневных дождей летом. По мнению физика Л.Бренига (L.Brenig; Свободный университет Брюсселя), можно рассчитывать на 300—600 мм дополнительной влаги ежегодно, сейчас же в пустыне Негев в среднем выпадает 205 мм осадков. Расходы на создание искусственного «островка жары» составят всего 20-ю часть затрат на строительство завода по опреснению морской воды.

Science et Vie. 2005. №1057. P.36 (Франция).

Археология

Английские петроглифы не моложе французских

Недавно удалось наконец определить возраст настенных рисунков, открытых в гроте у пос.Кресуэлл Крэгс (Великобритания)¹. Трудность датировки петроглифов, нанесенных на карбонатные породы, состояла в том, что нельзя было применить традиционный радиоуглеродный метод, поскольку использованные в них пигменты не содержали углерода.

Пришлось применить уран-ториевый метод датировки. Изображения частично восстановили. Оказалось, что им более 12 800 лет. Таким образом, английские петроглифы можно считать ровесниками рисунков, найденных во французских пещерах² — таких, как Нио.

La Recherche. 2005. №388. P.16 (Франция).

¹ Подробнее см.: Пещерная живопись в Англии // Природа. 2005. №4. С.37.

² См. также: Трофимова Е.В. Путешествие по карстовым пещерам Франции // Природа. 2006. №1. С.25—33.

Кипятильник в холодильнике

Сверхмассивные черные дыры в скоплениях галактик

Е.М.Чуразов

По современным представлениям все наблюдаемые астрономические объекты возникли из ничтожно малых флуктуаций плотности материи, заложенных на самых ранних этапах образования Вселенной. Вещество стягивается к областям, где плотность материи изначально оказалась чуть выше, чем в среднем по Вселенной, все увеличивая и увеличивая контраст плотности. Пространственный масштаб этих флуктуаций плотности задает конечную массу объекта, который сформируется в данном месте. А амплитуда начальных флуктуаций разного масштаба определяет характерное время, необходимое для формирования объектов заданной массы. В нашей Вселенной формирование структуры идет иерархическим образом — от объектов малой массы ко все более и более массивным образованиям. Иными словами, первыми начали образовываться звезды, затем галактики, а затем и скопления галактик. В настоящую эпоху именно скопления галактик являются «самыми массивными сформировавшимися объектами во Вселенной». Это выражение взято в кавычки, поскольку оно стало уже своего рода штампом при описании



Евгений Михайлович Чуразов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований РАН. Область научных интересов — теоретическая астрофизика, рентгеновская астрономия.

скоплений и встречается во множестве научных и популярных статей. Масса скопления галактик действительно очень велика — до 10^{15} масс Солнца (M_{\odot}), причем соотношение вкладов различных форм материи в их массу приблизительно такое же, как и во Вселенной в целом — 85% темной материи и 15% обычного вещества — барионов, т.е. привычных для нас водорода, гелия и более тяжелых элементов. И темная, и обычная материи образуют общую потенциальную яму, в которой сила гравитационного притяжения не дает космическим объектам разлетаться. Что касается обычного вещества, то из него состоят звезды в галактиках и горячий газ, заполняющий пространство между галактиками. А темную материю мы не видим прямо, но можем измерять ее массу по влиянию, оказываемому темной материей на движение галактик и распределение газа. В оптическом диапазоне, наблюдения в котором долгие годы служили единственным источником информации обо всех астрономических объектах, скопления галактик выглядят как участки неба, где плотность галактик заметно выше, чем в других местах (рис.1). Богатое скопление может содержать сотни галактик (из них несколько десятков действительно яркие галактики, а остальные — весьма слабые), заключенных в области размерами до нескольких миллионов световых лет. Галактики, естественно, не стоят на месте, а движутся со скоростями порядка 1000 км/с. Скорость этих движений

© Чуразов Е.М., 2006

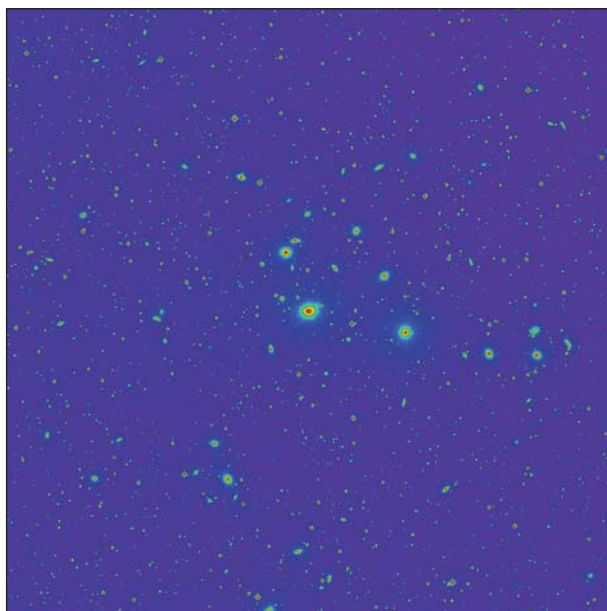


Рис.1. Оптическое изображение скопления галактик в созвездии Персея (данные Digital Sky Survey — DSS). Яркие пятна — отдельные массивные галактики. Наиболее массивная эллиптическая галактика NGC1275 расположена в самом центре скопления.

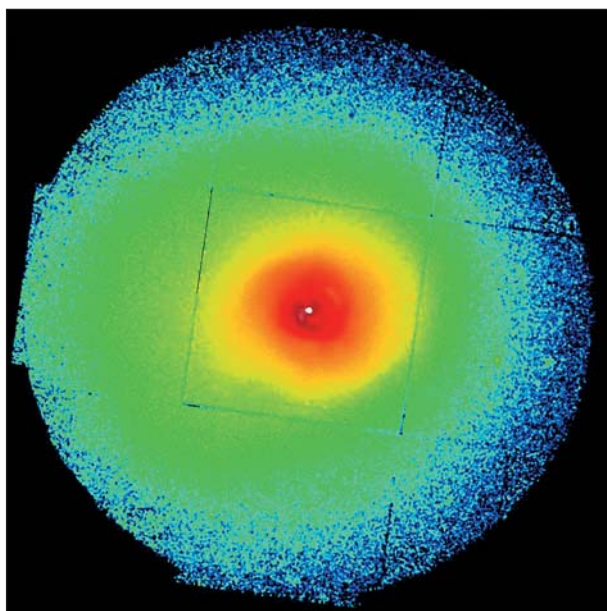


Рис.2. Изображение скопления галактик в созвездии Персея в рентгеновском диапазоне [1]. Цвет отражает яркость рентгеновского излучения — от голубого (маленькая яркость) на периферии скопления к красному (большая яркость) в центре скопления. Потенциальная яма, создаваемая темной материей, заполнена горячим газом. Этот газ и порождает рентгеновское излучение.

отражает силу притяжения и размер такого массивного объекта, как скопление, подобно тому, как скорость движения планет отражает массу звезды и размер орбиты.

Потоки охлаждения под рентгеном

В типичных скоплениях масса звезд в галактиках составляет не более нескольких процентов от общей массы скопления. Заметно большую долю (~15%) обеспечивает разреженный газ, заполняющий весь объем скопления. В отличие от галактик, движущихся с высокими скоростями в поле тяготения скопления, газ как целое может быть совершенно неподвижен, а противодействует тяготению он благодаря своей высокой температуре. Газ в скоплениях разогрет до температур в десятки и сотни миллионов градусов. Он полностью ионизован, и «видеть» такой газ можно по его рентгеновскому излучению (рис.2, 3). Это рентгеновское излучение возникает при столкновении электронов с ионами и носит название «тормозного» излучения (оно генерируется при ускоренном движении заряженных частиц). По направлению к центру скопления плотность газа увеличивается, и возрастает частота столкновений электронов с ионами (как квадрат плотности газа). Соответственно растет и интенсивность тормозного

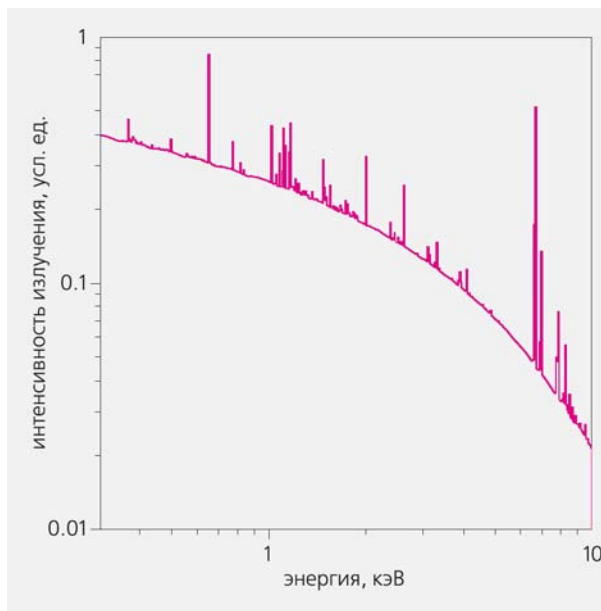


Рис.3. Теоретическая модель спектра излучения оптически тонкой плазмы с температурой около 50 млн градусов. Плавная кривая описывает тормозное излучение электронов, ускоряющихся в поле ионов. Отдельные линии связаны с излучением ионов таких элементов, как железо, кремний, сера и кальций, небольшие примеси которых содержатся в газе скоплений.

излучения. Поэтому центральные части скоплений оказываются мощными источниками рентгеновского излучения (светимость до 10^{45} эрг/с), и характеристики горячего газа (плотность, температура) могут быть надежно измерены.

Энергия, которая идет на рентгеновское излучение газа, черпается из тепловой энергии частиц (электронов и ионов). Но этот резервуар энергии не бесконечен. Например, при температуре $50 \cdot 10^6$ К и плотности электронов 10^{-2} см^{-3} энергия одного кубического сантиметра газа составляет $\sim 2 \cdot 10^{10}$ эрг. Темп потерь энергии этого же кубического сантиметра на излучение приблизительно равен $2.7 \cdot 10^{-27}$ эрг/с. Нетрудно подсчитать, что за время порядка четверти миллиарда лет газ должен «высветить» весь запас своей энергии и начать остывать. Быстрее всего он остывает в центре скопления, где его плотность самая большая. Дело в том, что внутренняя энергия единицы объема растет линейно с плотностью газа, а темп потери энергии — квадратично. В плотных центральных областях температура газа падает, и он начинает сжиматься под давлением внешних слоев. При параметрах, характерных для газа в скоплениях галактик, время остывания газа заметно больше, чем, например, время распространения звуковых волн. Поэтому процесс охлаждения идет плавно, и в каждый момент времени газ находится в состоянии гидростатического равновесия. Сжатие приводит к повышению плотности, и процесс охлаждения еще более ускоряется. В результате охлаждающийся газ начинает оседать в центре скопления, и на его место приходят новые порции газа из внешних областей — развивается процесс, получивший название «поток охлаждения». Подробное обсуждение наблюдательных проявлений потоков охлаждения и различные теоретические модели приведены в обзоре А.Фабиана [2]. Самым очевидным свидетельством охлаждения газа служит образование области более холодного и плотного газа в центральной части скопления. Действительно, во многих скоплениях (пример приведен на рис.4) газ в центральной зоне заметно холоднее, чем газ во внешних областях. Одновременно в этой холодной зоне сильно возрастает плотность газа (рис.5). Исключением из этого правила являются скопления, в которых недавнее слияние нескольких менее массивных скоплений привело к сильному перемешиванию газа и разрушению центральной области, где он охлаждался.

Примеры, показанные на рисунках, дают убедительный аргумент в пользу концепции потоков охлаждения. На протяжении почти 30 лет считалось, что эта концепция в основном правильная и только некоторые детали подлежат уточнению. Однако среди «деталей» были и очень серьезные проблемы. В частности, совершенно непонятен был вопрос: до каких температур остывает газ и куда он потом девается? Как мы уже знаем, темп

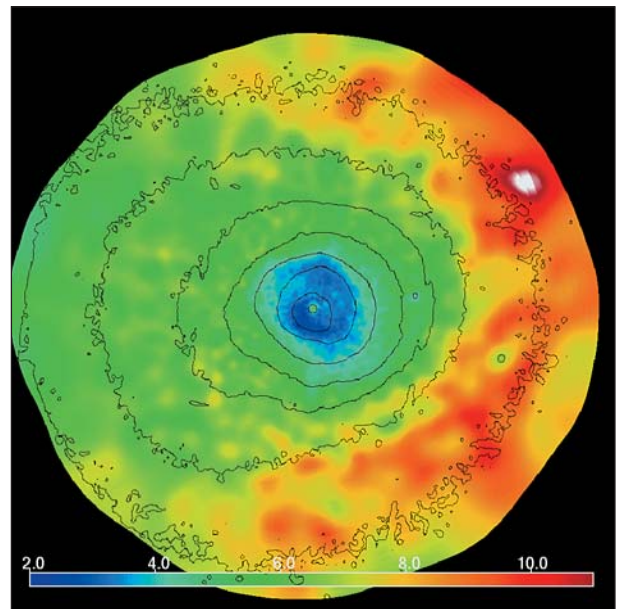


Рис.4. Карта распределения температуры газа (в килоэлектронвольтах) в Персее [1]. Шкала температур показана снизу. Четко видна более холодная центральная зона.

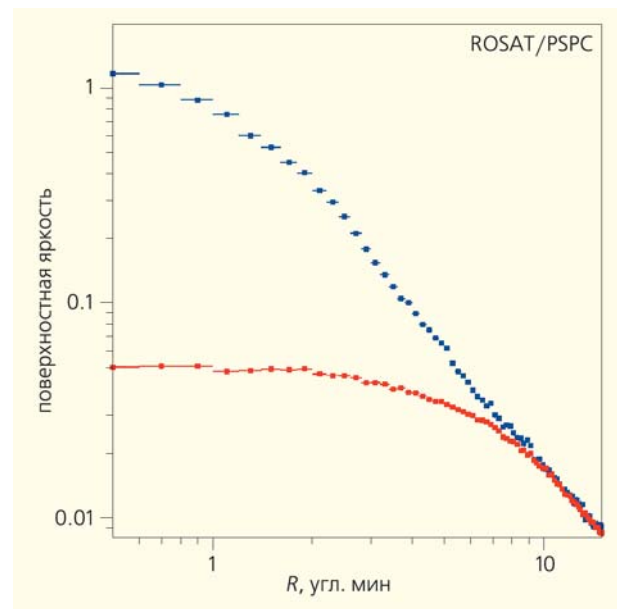


Рис.5. Сравнение профилей поверхностной яркости в скоплении с потоком охлаждения (синие точки) и без потока охлаждения (красные точки). Расстояние (в проекции на изображение) отсчитывается от центра скопления. Поверхностная яркость в рентгеновском диапазоне связана с плотностью газа, а в потоках охлаждения плотность газа сильно возрастает к центру скопления.

остывания зависит от плотности газа. По мере остывания и падения температуры его плотность увеличивается, чтобы давление остывающего газа приблизительно соответствовало давлению окружающих слоев. Поэтому растет и скорость остывания. И горячий газ, начавший остывать при температуре в десятки миллионов градусов, сначала остывает медленно, а затем все быстрее и быстрее, пока его температура не упадет ниже десяти тысяч градусов. При более низких температурах водород становится нейтральным, и процесс охлаждения качественно меняется и замедляется. Следовательно, можно ожидать, что остывший газ имеет температуру, не превышающую 10^4 К. С другой стороны, сравнение светимости центральных областей скоплений ($\sim 10^{44} - 10^{45}$ эрг/с) с тепловой энергией одной частицы $3/2kT$, где T — температура газа, k — постоянная Больцмана, позволяет оценить: чтобы обеспечить наблюдаемую светимость, каждый год должна охлаждаться масса газа порядка 100—1000 солнечных масс (так называемый темп охлаждения). Тогда за характерное время жизни скопления порядка 10^{10} лет масса охладившегося газа должна составить примерно $10^{12} - 10^{13} M_{\odot}$! Многочисленные попытки обнаружить столь огромное количество газа не привели к успеху. В частности, было показано, что этот газ не может переработаться в звезды. В противном случае в центральных областях скоплений следовало бы ожидать темпа звездообразования, сравнимого с темпом охлаждения, т.е. порядка 100—1000 солнечных масс в год. Все скопления, где наблюдаются потоки охлаждения, действительно содержат в своем центре гигантскую эллиптическую галактику (см. пример на рис.1) с массой звезд порядка $10^{12} M_{\odot}$, но при темпе звездообразования даже в 100 солнечных масс в год эти галактики должны быть значительно более яркими в голубом свете, чем наблюдается. Реальный предел для темпа звездообразования в них более чем на порядок ниже предсказаний модели потоков охлаждения. Целый ряд моделей, часто весьма элегантных, был разработан для объяснения возникших проблем, и было очевидно, что нужны новые наблюдения, чтобы окончательно утвердить или опровергнуть простую модель потоков охлаждения. Такие данные появились с запуском европейской орбитальной рентгеновской обсерватории «ХММ-Newton». Специальная дифракционная решетка для рентгеновского диапазона длин волн позволяет регистрировать рентгеновские эмиссионные линии различных тяжелых элементов (кислорода, железа, кремния), которые характерны для плазмы, имеющей температуру в диапазоне $10^5 - 10^8$ К. Уже первые наблюдения потоков охлаждения в самых ярких скоплениях дали неожиданный результат (см., например, [3]) — в спектрах центральных зон скоплений практически отсутствуют линии, характерные для температур ниже 10 млн градусов! Иначе говоря, газ не охлаж-

дается ниже примерно 10^7 К, что полностью противоречит концепции потоков охлаждения. Хотя даже сейчас продолжают попытки объяснить и эти результаты в рамках стандартной модели потоков охлаждения, для большинства астрофизиков наблюдения обсерватории «ХММ-Newton» стали четким сигналом к поиску новой концепции. В действительности, однако, стандартная формулировка модели потоков охлаждения содержит одну оговорку: «потери газа на излучение приводят ко все более быстрому охлаждению и формированию потоков газа *при отсутствии других источников энергии*». Новая концепция не подвергает сомнению тот факт, что газ теряет свою энергию на излучение, а концентрируется на поиске *других источников энергии*, которые могут скомпенсировать потери газа и предотвратить его быстрое охлаждение. Рассмотрим роль сверхмассивных черных дыр как возможных источников такой энергии.

Черные дыры надувают пузыри

В центрах большинства (а вероятно, и всех) галактик присутствуют сверхмассивные черные дыры. Массы этих черных дыр зависят от свойств самой галактики — чем массивнее галактика, тем тяжелее и центральная черная дыра. Не является исключением и наша Галактика — масса «нашей» сверхмассивной черной дыры, определенная по движению вокруг нее отдельных звезд, равна примерно $3.6 \cdot 10^6 M_{\odot}$. Интересно, что масса черной дыры зависит не прямо от полной массы галактики, а наиболее жестко связана с массой «балджа» — одной из компонент, составляющей типичную галактику. Звезды балджа имеют квазисферическое распределение, в отличие от звезд диска. Наша Галактика спиральная и обладает сравнительно маленьким балджем. Отсюда и «скромная» масса черной дыры. Эллиптические галактики целиком состоят из балджей, и в них массы черных дыр могут достигать нескольких миллиардов солнечных масс. Некоторые из этих сверхмассивных черных дыр, называемые квазарами или активными ядрами галактик, оказываются ярчайшими источниками излучения во всем диапазоне электромагнитных волн, со светимостями до $10^{46} - 10^{47}$ эрг/с. Другие сверхмассивные черные дыры, как, например, сверхмассивная черная дыра в нашей Галактике, напротив, очень слабые источники излучения. Различие между яркими и слабыми источниками, по-видимому, связано с разницей в количестве вещества, падающего на них и создающего наблюдаемое излучение.

Как уже говорилось раньше, самые большие эллиптические галактики обнаружены в центрах скоплений галактик, как раз в той области, где газ теряет свою энергию на излучение. Может ли сверхмассивная черная дыра быть тем источни-

ком энергии, который не дает газу охлаждаться? С точки зрения бюджета энергии, это несомненно так. Действительно, при охлаждении от начальной температуры порядка $7 \cdot 10^7$ К каждая частица (протон или электрон) теряет энергию порядка $3/2kT \sim 10^{-8}$ эрг. При падении же частицы на черную дыру может выделяться энергия, составляющая заметную долю от энергии покоя частицы. Например, до 6% энергии покоя аккрецирующего вещества может быть переработано в излучение при дисковой аккреции на невращающуюся черную дыру (и еще больше для вращающейся дыры). Для одного протона выделяющаяся энергия составляет $\sim 10^{-4}$ эрг. Сравнение потерь энергии на охлаждение и энерговыделения при падении на черную дыру показывает, что стоит доле охлаждающегося вещества упасть на черную дыру, как будет обеспечено достаточно энергии для подогрева всего остального вещества. Именно этот факт дает привлекательный шанс объяснить проблему потоков охлаждения за счет подогрева газа сверхмассивными черными дырами — охлаждающийся газ питает черную дыру, а она, в свою очередь, не позволяет окружающему газу охлаждаться. Можно ли проверить эту гипотезу наблюдениями? С одной стороны, среди ядер галактик, которые находятся в центрах потоков охлаждения, доля источников, демонстрирующих активность, заметно выше, чем для сверхмассивных дыр вне скоплений. Это работает в пользу нашей гипотезы. С другой стороны, черные дыры в центрах скоплений — не такие уж яркие источники, и их светимость на порядки величины ниже, чем светимость охлаждающегося газа. И кроме того, газ почти полностью прозрачен для излучения, и даже очень мощный источник не способен передать ему много энергии — излучение попросту проходит через газ, почти не задерживаясь. Это, казалось бы, сильный аргумент против нашей гипотезы. Но нет ли другого способа сообщить энергию газу?

На самом деле излучение — далеко не единственный механизм, с помощью которого черная дыра способна нагревать газ. Решающим фактором в выяснении этого вопроса стало сравнение наблюдений скоплений в радио- и рентгеновском диапазонах длин волн. На рис.6 показано изображение в рентгеновском диапазоне центральной области ярчайшего скопления галактик в созвездии Персея, полученное обсерваторией «Chandra». Яркая точка в середине изображения — это сверхмассивная черная дыра в центре гигантской галактики NGC1275, а все остальное свечение связано с горячим газом. Видно, что газ распределен очень неравномерно — вместо плавного повышения рентгеновской яркости к центру скопления на картинке видны асимметричные яркие и темные пятна. Особенно четко выделяются два темных пятна, окруженные более яркими кольцами, — сверху и снизу от сверхмассивной черной дыры. С правой стороны на рис.6 представлено

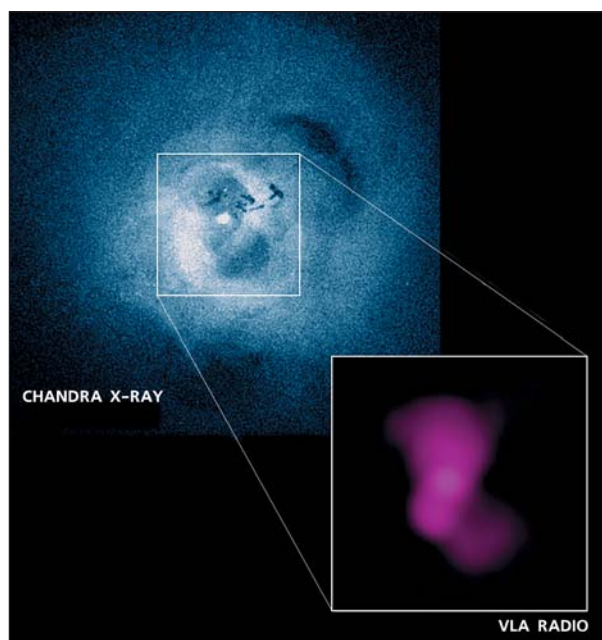


Рис.6. Рентгеновское изображение самой центральной области скопления [4] галактик в созвездии Персея, полученное спутником «Chandra». Видны темные пятна сверху и снизу от ядра. На врезке справа показана карта радиоизлучения этой области. Видно, что радиоизлучение идет именно из тех областей, где понижена яркость в рентгеновском диапазоне.

изображение той же области, но в радиодиапазоне. Ядро галактики NGC1275 — очень мощный источник радиоизлучения, вокруг которого есть более слабое и протяженное гало. Именно это гало изображено на рис.6, а излучение самого ядра на рисунке специально подавлено. Как и во многих других галактиках, наблюдаемое радиоизлучение связано с синхротронным излучением высокоэнергичных электронов. Эти электроны делают «видимыми» потоки релятивистской плазмы, формирующиеся вблизи черной дыры и далее распространяющиеся на большие расстояния от нее. Иногда такие потоки имеют форму очень узких струй на расстояниях в сотни килопарсек, а в других случаях релятивистская плазма образует весьма аморфную структуру, подобную представленной на рис.6. Сравнение радио- и рентгеновского изображений показывает, что радиоизлучение идет из тех самых мест, которые на рентгеновском изображении выглядят темными пятнами. Учитывая, что наблюдаемое рентгеновское излучение связано с горячим (но не релятивистским) газом, можно сделать вывод, что такого газа меньше в тех областях, где присутствует релятивистская плазма. Тщательный анализ изображений подтверждает данный вывод — можно сказать, что

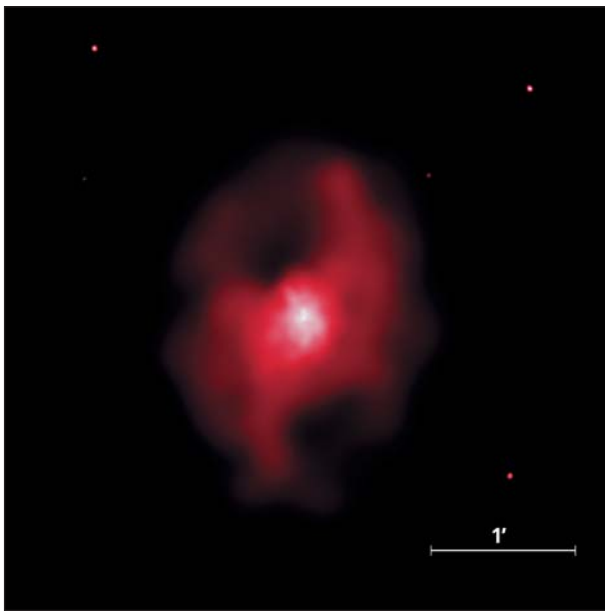


Рис.7. Рентгеновское изображение скопления MS 0735.6+7421 [5]. По обе стороны от ядра заметны темные пятна. Как и в случае скопления галактик в созвездии Персея, радиоизлучение (не показано на рисунке) «заполняет» эти пятна.

релятивистская плазма попросту расталкивает окружающий газ, надувая в нем огромные пузыри. Скопление в созвездии Персея не уникально — пузыри наблюдаются и во многих других скоплениях (см., например, рис.7: ситуация в указанном скоплении полностью аналогична предыдущей, и известен еще десяток [6] таких примеров).

Интересно, что на рентгеновском изображении скопления в Персее (рис.6) видны еще несколько темных пятен, в частности, пятно серповидной формы выше и правее центра, причем радиоизлучение из этой области тоже весьма мало. Оказывается, что и такие пятна можно связать с пузырями релятивистской плазмы — просто эти пузыри много старше, и самые энергичные электроны, генерирующие радиоизлучение, давно потеряли свою энергию, и радиоизлучение исчезло. Но электроны меньших энергий и протоны по-прежнему наполняют пузырь, не давая окружающему газу занять этот объем.

Легко оценить минимальное количество энергии, необходимое для надувания такого пузыря. Эта энергия складывается из внутренней энергии пузыря и работы по вытеснению окружающего газа, т.е.

$$E = \frac{\gamma}{\gamma - 1} PV,$$

где $\gamma = 4/3$ — показатель адиабаты для релятивистской плазмы, P — давление окружающего газа, а V — объем пузыря. Все эти величины известны

благодаря данным рентгеновских наблюдений, и для скопления в созвездии Персея (рис.6) минимальная энергия в пузырях равна 10^{59} эрг.

Теперь попытаемся оценить мощность источника, надувающего пузыри. Для этого нужно узнать время, за которое пузыри были надуты, или, другими словами, определить возраст пузыря. Прежде всего заметим, что чем больше мощность источника, тем быстрее должен расти размер пузыря. Кроме того, если изначально пузырь маленький, то расширение пузыря идет со сверхзвуковой скоростью, а по мере увеличения размера пузыря его радиус увеличивается все медленнее. Нечто похожее происходит, когда мы надуваем воздушные шары, — в первый момент шарик быстро раздувается, а затем темп его роста все более и более снижается. Теперь рассмотрим, что должно происходить с пузырем релятивистской плазмы в атмосфере окружающего газа. Плотность вещества внутри пузыря много меньше плотности окружающего газа, и на пузырь должна действовать архимедова сила, подобная той, которая действует на пузыри воздуха в воде. Под ее действием пузыри всплывают, и скорость всплытия определяется балансом силы Архимеда и сил сопротивления/трения, действующих на пузырь со стороны окружающей среды. Зная размер пузыря и параметры атмосферы, можно оценить скорость всплытия, которая увеличивается с размером пузыря. Например, для очень больших пузырей, размер которых сопоставим с высотой однородной атмосферы, скорость всплытия сравнима со скоростью звука в ней. Таким образом, верхний предел возраста пузырей получается простым делением размера пузыря на скорость всплытия. Только более «молодые» пузыри могут находиться вблизи черной дыры, тогда как «старые» пузыри постепенно всплывают и покидают самую центральную область скопления. Учитывая, что скорость расширения пузыря зависит от мощности источника, очевидно, что сильный источник сможет надуть большой пузырь, прежде чем пузырь будет унесен силой Архимеда. А при слабом источнике, наоборот, могут формироваться только небольшие по размеру пузыри.

Дальнейшая эволюция пузырей должна напоминать эволюцию горячего шара, образующегося в земной атмосфере после мощного (скажем, ядерного) взрыва: изначально почти сферический пузырь превращается в процессе подъема во что-то, напоминающее гриб или зонтик. Убедительное подтверждение такой картины было получено в радионаблюдениях массивной и близкой эллиптической галактики M87 (рис.8). Рисунок демонстрирует данные реальных наблюдений пузырей релятивистской плазмы в этой галактике — четко виден «гриб», связанный со старым пузырем, тогда как в центральной части продолжают формироваться более молодые пузыри. А на рис.9 приведены результаты численного моделирова-

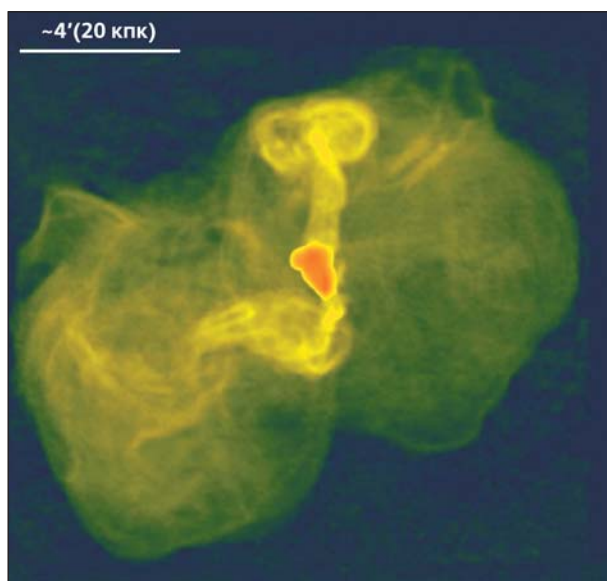
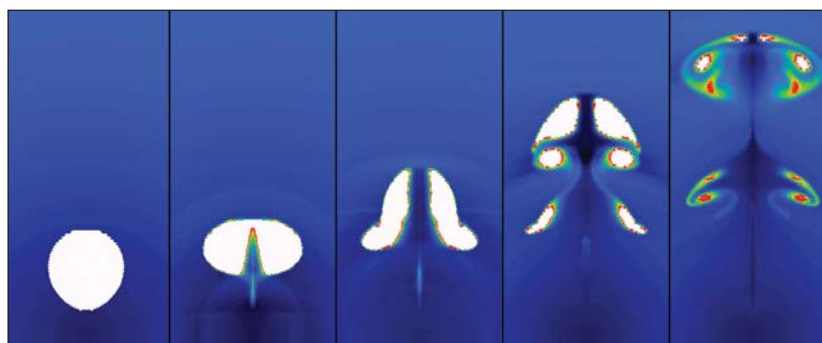


Рис.8. Карта радиоизлучения галактики М87 на длине волны 90 см [7]. Для удобства оригинальный рисунок повернут на 90° . Четко виден «гриб» релятивистской плазмы, поднимающийся от ядра.

ния эволюции пузырей в этой галактике. Оно показывает, что можно довольно точно воспроизвести основные параметры «гриба» в М87 и, например, оценить возраст различных пузырей в М87. Аналогичную модель можно применять и к другим скоплениям.

Теперь, зная динамику эволюции и возраст пузырей, можно оценить и мощность источника, их надувающего, — для скопления в созвездии Персея эта мощность, оказывается, составляет почти 10^{45} эрг/с. Иными словами, порядок величины близок к темпу потери энергии охлаждающегося газа. Подобные выводы были получены и для нескольких других скоплений — «механическая» мощность потоков релятивистской плазмы от центральных черных дыр сравнима по порядку величины с потерями газа на охлаждение и намного выше, чем наблюдаемая светимость этих черных дыр.

Рис.9. Простой гидродинамический расчет эволюции пузырей релятивистской плазмы в атмосфере горячего газа галактики М87 [8]. Видно, как исходно сферический пузырь превращается в процессе подъема в гриб или зонтик. Последовательность картинок соответствует моментам времени 0, 8, 20, 40 и 60 млн лет с момента начала подъема пузыря.



Саморегулирующийся нагрев

Теперь, когда мы убедились, что черная дыра поставляет значительное количество энергии в окружающий газ, мы должны удостовериться, что эта энергия идет на нагрев газа. Вопрос далеко не однозначный, поскольку мы не знаем в деталях, как пузыри релятивистской плазмы взаимодействуют с газом скопления. Например, мы не знаем, какова эффективная вязкость и теплопроводность в газе скоплений. Нам также неизвестно, происходит ли перемешивание релятивистской плазмы и окружающего газа на микроскопических масштабах. Кроме того, в процессе надувания пузыря могут образовываться ударные и звуковые волны, которые способны приводить как к эффективному нагреву газа (сильные ударные волны), так и к выносу энергии из центральной зоны скоплений (звуковые волны в среде с низкой вязкостью и теплопроводностью). Различные варианты и модели взаимодействия релятивистской плазмы и газа являются сейчас предметом интенсивного обсуждения в литературе. Мы же ограничимся рассмотрением простой задачи о всплывании практически невесомого пузырька. Невесомость пузырька означает, что сумма сил, действующих на пузырек, равна нулю, и что пузырек не несет кинетической энергии. В этом случае легко показать, что пузырек должен потерять большую часть запасенной в нем энергии (внутренняя энергия плюс работа над окружающим газом, см. выше) при подъеме на расстояние, превышающее высоту однородной атмосферы. Эта энергия идет на создание движений газа вокруг пузырька. При большой вязкости эти движения сразу преобразуются в нагрев газа. При очень малой вязкости поднимающийся пузырек создает позади себя турбулентный след и возбуждает внутренние волны (подобные волнам в море) в окружающем газе. Энергия, переданная турбулентным движениям и волнам, в конечном итоге тоже переходит в тепло. Итак, хотя детали всего процесса зависят во многом от вязкости газа, конечный вывод остается неизменным — всплывающие пузыри нагревают окружающий газ весьма эффективно.

Осталось выяснить, как черная дыра «узнает», сколько энергии нужно поставлять в окружающий газ, чтобы предотвратить его охлаждение, но и не перегревать газ. Действительно, слишком низкий темп нагрева не сможет остановить охлаждение газа, и мы вернемся к той же проблеме потоков охлаждения, которую пытались решить. С другой стороны, слишком высокий темп нагрева приведет к повышению температуры и оттоку газа. И мы создадим себе новую проблему — «потоки нагрева» вместо «потоков охлаждения». Нам необходим механизм, обеспечивающий саморегулировку мощности черной дыры, — своего рода обратная связь по параметрам «температура» и «плотность». Интуитивно понятно, как такой механизм может осуществляться в природе — охлаждение или нагрев окружающего газа должны влиять на темп падения вещества на черную дыру и, соответственно, на то, сколько энергии она выделяет. Наиболее простая модель [9] базируется на классическом решении задачи о сферически симметричной аккреции вещества на компактный объект, найденном сэром Херманном Бонди в 1952 г. В этом решении темп аккреции определяется плотностью вещества и температурой газа — чем выше плотность и меньше температура, тем выше и темп аккреции. Именно такое поведение и необходимо, чтобы избежать переохлаждения или перегрева газа — изменения температуры и плотности приведут к «подстройке» активности черной дыры к нужному уровню, чтобы обеспечить примерный баланс нагрева и охлаждения газа на больших временных интервалах. Можно показать, что в простых случаях система из черной дыры и охлаждающегося газа в потенциальной яме скопления будет устойчивой и сама будет находить «правильные» параметры газа — его плотность и температуру.

В качестве очевидного недостатка такой простой модели можно отметить, что аккреция Бонди полностью игнорирует угловой момент вещества, падающего на черную дыру. В реальности даже небольшой угловой момент должен приводить к радикальному изменению характера течения и формированию аккреционного диска вместо сферически симметричного потока. Тем не менее можно надеяться, что эти изменения затрагивают лишь самую внутреннюю часть потока, а общий темп аккреции более или менее описывается формулой Бонди.

Заметим, что альтернативой рассмотренного выше сценария квазистационарной и саморегулирующейся аккреции служит гипотеза о редких, но очень мощных эпизодах активности черных дыр. Подобные эпизоды могут возникать, например, при слиянии двух богатых газом галактик, когда большое количество вещества неожиданно поступает в центральную область одной или обеих галактик и начинает падать на черную дыру.

Огромное количество выделяющейся при этом энергии способно «разбросать» газ вокруг черной дыры или вообще полностью выбросить его из отдельной галактики или небольшого скопления. Слияние галактик может также сопровождаться слиянием и самих черных дыр, что делает всю картину еще более сложной и интересной. Какой из режимов активности черных дыр играет доминирующую роль — вопрос, который сейчас активно обсуждается.

Некоторые итоги

Таким образом, исследования последних нескольких лет привели к кардинальному пересмотру концепции потоков охлаждения. Вместо ускоряющегося охлаждения потока газа к центру скопления и звездообразования из остывшего газа мы имеем более сложную систему, в которой остывающий газ питает черную дыру, а она, в ответ, снабжает газ энергией и не дает ему охлаждаться. Главным каналом поставки энергии служат пузыри релятивистской плазмы, надуваемые черной дырой. Взаимное влияние черной дыры и газа позволяют им подстроиться друг к другу так, чтобы сохранялось примерное равновесие между нагревом и остыванием газа. В таком состоянии вся система может существовать десятки миллиардов лет без радикальных изменений основных характеристик. В этом смысле картина напоминает работающий холодильник (охлаждающийся газ в скоплении), в который положили работающий же кипятильник (черную дыру), причем их мощности подобрали одинаковыми. Хотя подобная ситуация кажется, на первый взгляд, противоестественной, бытовые кондиционеры реализуют ее в обычных комнатах — понижение или повышение температуры, регистрируемое датчиками кондиционера, приводит к увеличению или уменьшению мощности нагрева, и температура выравнивается.

Если эта картина правильна, то ее следствия могут выходить далеко за рамки проблемы потоков охлаждения. Прежде всего, подобное взаимное влияние черной дыры и охлаждающегося газа может быть тем механизмом, который регулирует рост черных дыр в формирующихся эллиптических галактиках. Простые оценки [10] показывают, что таким образом можно, например, объяснить наблюдаемую связь масс эллиптических галактик и масс сверхмассивных черных дыр. Другой интересный аспект этой картины — вывод о существовании режима аккреции на черную дыру, при котором механическая энергия потоков релятивистской плазмы значительно превышает наблюдаемую светимость черных дыр. Потоки охлаждения, потери энергии которых мы надежно измеряем по рентгеновскому излучению, фактически являются мерой механической энергии черных

дыр. По-видимому, это наиболее простой способ измерения механической энергии аккрецирующих черных дыр.

В заключение остается только отметить, что интенсивные наблюдения скоплений галактик

и потоков охлаждения в радио-, оптическом и рентгеновском диапазоне продолжают, и можно ожидать еще немало сюрпризов и неожиданных поворотов в этой динамично развивающейся области астрономии и астрофизики. ■

Работа выполнена в рамках программы Отделения физических наук РАН «Протяженные объекты во Вселенной» и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-02-16540).

Литература

1. Churazov E., Forman W., Jones C., Böhringer H. // *Astrophysical Journal*. 2003. V.590. P.225—237.
2. Fabian A. // *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. 1994. V.32. P.277—318.
3. Peterson J.R., Paerels F.B.S., Kaastra J.S. et al. // *Astronomy and Astrophysics*. 2001. V.365. P.L104—L109.
4. Fabian A.C., Sanders J.S., Ettori S. et al. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2000. V.318. P.L65—L68.
5. McNamara B.R., Nulsen P.E.J., Wise M.W. et al. // *Nature*. 2005. V.433. P.45—47.
6. Birzan L., Rafferty D.A., McNamara B.R. et al. // *Astrophysical Journal*. 2004. V.607. P.800—809.
7. Owen F.N., Eilek J.A., Kassim N.E. // *Astrophysical Journal*. 2000. V.543. P.611—619.
8. Churazov E., Brüggem M., Kaiser C.R. et al. // *Astrophysical Journal*. 2001. V.554. P.261—273.
9. Churazov E., Sunyaev R., Forman W., Böhringer H. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2002. V.332. P.729—734.
10. Churazov E., Sazonov S., Sunyaev R. et al. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2005. V.363. P.L91—L95.

По мнению японских геологов, источником многочисленных сейсмических толчков, обрушивающихся на японскую столицу, является расположенная под Токийским заливом небольшая плита (площадью в 10 тыс. км² и толщиной 25 км). Она представляет собой «сандвич», состоящий из участков Филиппинской, Тихоокеанской и Евразийской плит. Обнаружена эта микроплита на основе анализа данных по 150 тыс. сейсмо толчков малой магнитуды, отмеченных в 1979—2004 гг.

Sciences et Avenir. 2005. №701. P.20 (Франция).

Английские археологи нашли останки двух женщин, находившихся на службе в армии Древнего Рима, которая окку-

пировала Британские о-ва в III в. Рядом с останками, обнаруженными на кладбище Брухэм, лежали ножны от мечей, скелеты лошадей. Вспомогательное подразделение римского легиона, в котором служили эти воительницы, было сформировано из жителей дунайских провинций Центральной и Восточной Европы, а, согласно греческой мифологии, эти земли были родиной амазонок.

La Recherche. 2005. №384. P.18 (Франция).

Французский микроспутник «Parasol», выведенный на орбиту 18 декабря 2004 г., передал свои первые снимки Африки и Европы 7 января 2005 г. Задача, поставленная перед ним Национальным центром

космических исследований, состоит в изучении роли аэрозоль и их взаимодействия с облаками в климатических процессах. «Parasol» способен делать обзорные снимки Земли и ее атмосферы каждые 20 с через спектральные или поляризаационные фильтры. Будучи переведен на орбиту высотой 705 км, он станет работать в связке со спутниками НАСА «Aqua» и «Aura» — двумя другими звеньями француско-американской программы «A-train». К 2008 г. международная космическая обсерватория, нацеленная на исследование климата, будет располагать шестью спутниками, имеющими собственные программы наблюдений.

Sciences et Avenir. 2005. №697. P.37 (Франция).

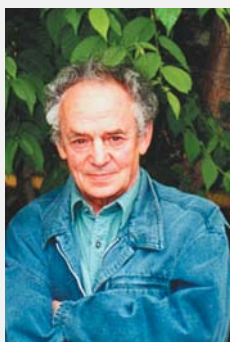
Как зимуют муравьи на Колыме?

Д.И.Берман

Россия, как известно, самая большая заснеженная страна мира. Доля ее площади с положительными температурами зимой ничтожна, а вечная мерзлота занимает почти 60%. На всем этом пространстве каждый год зимуют в оцепенении мириады беспозвоночных животных тысяч разных видов. И только для немногих из них выяснено, как они переживают зиму, как защищаются от холода [1, 2]. Исследователей же холодоустойчивости животных ныне в России — по пальцам одной руки перечесть... Масштабу явления явно не соответствует степень изученности, прикладываемые усилия и оказываемое ему внимание.

Наши предшественники установили, что два вида изученных ими муравьев не выносят замерзания [3]. Казалось, что это свойство всех муравьев. Так как же они зимуют вблизи полюса холода Северного полушария? Пытаясь ответить на этот вопрос, мы много зим и лет работали с муравьями в 500 км от Магадана в верховьях Колымы на нами же построенном стационаре «Абориген». Осмысленное — дело не быстрое, сейчас оно, похоже, пришло, и предлагаемая статья — попытка поделиться им.

© Берман Д.И., 2006



Даниил Иосифович Берман, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биоценологии Института биологических проблем Севера ДВО РАН. Область научных интересов — адаптивная стратегия северных организмов, биогеография Берингии.

В основе подхода лежала триада:

— экология зимовки муравьев (биотопическое распределение, устройство гнезд, зимующие онтогенетические стадии и т.п.),

— микроклимат и температурные условия зимовки каждого вида,

— устойчивость муравьев к холоду (температуры максимального переохлаждения, пороги переносимых температур, биохимия криопротекторов и т.п.).

Такой круг задач в одиночку не решается. Над тем трудилась вся наша группа — мирмеколог З.А.Жигульская; физиолог, а в прошлом ядерный физик

А.Н.Лейрих, микроклиматолог А.В.Алфимов, начальник стационара В.А.Бельгер, его жена и наша сестра-хозяйка А.П.Бельгер, рабочий, ныне инженер А.А.Плоухин, водитель А.А.Лейман и др. На последних четверых лежало все, чего остальные просто не умеют: добыть зимой электричество, тепло, воду — словом, все жизнеобеспечение. Когда «за бортом» ниже -50°C , ни закон Кулона, ни сообщающихся сосудов, как выяснилось, на Колыме почему-то не работают. А у этих в ту пору молодых работали. Главное же было в понимании, что лаборатории существуют не только для того, чтобы по одной ведомости зарплату получать...

Муравьи как модельный объект

На северо-востоке Азии, как и везде на Севере, видов беспозвоночных много меньше, чем на Юге, зато холод делает картину максимально рельефной. Где, как не здесь или в Антарктиде, заниматься экологией зимующих беспозвоночных? В Антарктиде, безусловно, хуже — там нет муравьев.

Муравьи — чуть ли не идеальный модельный объект для подобных исследований. Как и многие другие беспозвоночные, они разнообразны, населяют практически все ландшафты Северо-Востока, кроме тундр и высокогорий. Но в отличие от всех прочих, муравьев для зимних экспериментов не надо собирать осенью по штучке и укладывать на зимовку в наилучшие (с точки зрения экспериментатора) условия в лаборатории. Не трогая животных осенью, мы даем им возможность пройти естественный режим весьма сложной подготовки к зимовке. Достаточно пометить муравейники длинными вешками (чтобы были видны над снегом), в нужное время зимой выдолбить их целиком из грунта, перенести в...нетнет, не в теплую лабораторию, а в холодную комнату, чтобы предотвратить тепловой шок, не дать ожить раньше, чем требуется программой эксперимента, не сдвинуть весьма лабильную биохимию криопротекторов и т.д. В таком помещении с открытыми окнами и закрытыми кошмой батареями, чтобы не грели, поддерживались компромиссные $-10...-15^{\circ}\text{C}$ — муравьям не опасно, исследователю терпимо. Монолит с муравейником осторожно вскрывался, муравьи извлекались, раскладывались по бюксам небольшими порциями, используемыми для экспериментов по мере надобности.

«Чтобы сделать рагу из зайца, надо, как минимум, иметь кошку». Чтобы работать с муравьями зимой, надо выдолбить из грунта муравейник. Полагаю, кошку до-

бить проще... Представьте, что такое выколоть монолит объемом в четверть куба при колымских морозах, да быстро, чтобы не замерз (разумеется, муравейник), да еще под покрякивание «надсмотрщика», заботящегося о сохранности содержимого кома с муравейником больше, чем об отваливающихся от холода ногах и душевном равновесии нецензурно капризничающих работающих. Потом надо погрузить на нарты, потом затащить в «холодную». В одиночку всего этого не сделать, и в роли добытчиков выступало все мужское население лаборатории. Описываю столь подробно лишь ради того, чтобы стало понятно: криоэкология на Колыме — наука, сопряженная в первую очередь с кайлом, лопатой и свирепыми морозами, а учитывая место действия, еще и добровольная каторга. Лаборатория, измерения температуры насекомых тончайшими термомпарами, самописцы, низкотемпературные холодильники, биохимические анализы и прочие атрибуты — все это уже потом, всласть.

Местообитания, устройство гнезд и зимовка

От верховьев Колымы, где расположен стационар «Абориген», рукой подать до полюса холода Северного полушария (метеостанция «Делянكير» на междуречье Колымы и Индигирки, «Оймякон» и «Мома» на Индигирке) с его нормальными для декабря—февраля -60°C , а то и более низкими температурами. На Колыме не намного лучше: -50°C обычны (при такой температуре работать на открытом воздухе запрещено), -35°C почитают за оттепель.

Снега мало, поэтому и под ним холодно. Среднегодовая температура воздуха на северо-востоке страны на юг до бассейна Амура отрицательна, значит — повсеместна мерзлота, прорезанная узкими полосами

таликов вдоль рек. Температура мерзлоты, измеряемая на глубине, где не сказываются сезонные колебания (3—4 м), невелика, обычно всего-то $-4...-6^{\circ}\text{C}$. Правда, никто там и не живет. В той же почве, мощность ее редко превышает 15—20 см, температуры на глубине 10 см в ноябре при бесснежье падают до $-20...-30^{\circ}\text{C}$. По мере роста снежного покрова в почве теплеет, но ненадолго, ибо 30—50 см снега принципиально не меняют дела. Самое теплое место из найденных нами — в горных тундрах (выше 1200 м над ур.м.) под двухметровыми надувами снега. Тут зарегистрированы аж -9°C ; только под надувами тоже мало кто живет (разве что полевки, весной выселяющиеся из-под тающих снежников в летние норы) — и без того короткий теплый сезон здесь непозволительно урезан.

Лето тоже не балует, оно сокращено до двух месяцев — до середины июня еще весна, а к 20 августа следы осени искать не надо, они везде. Выше границы леса (800—1000 м) к этому времени непременно ложится снег.

Вечная мерзлота может препятствовать устройству камер муравьев на глубине, достаточной по температурным условиям для зимовки. Конечно, речь идет не о «сухой мерзлоте» на хорошо дренируемых склонах, проявляющейся только отрицательными температурами на глубине 2.5—3.5 м да отдельными кристалликами льда, не способными скрепить грунт в ледовый бетон. Она муравьям не помеха.

Другое дело — слитная, почти каменной твердости мерзлота, мешающая муравьям жить, прежде всего, в теплое время года. Над ней температуры близки к нулю и, как на водоупоре, всегда сочится вода. Наиболее ярко мерзлота выражена на северных склонах, заболоченных шлейфах склонов всех экспозиций и днищах долин. Сезонное оттаивание на северных склонах местами не превышает 30—40 см. Забегая вперед, отметим, что все виды



Характерный пейзаж бассейна верховий Колымы. На всем пространстве панорамы, кроме горных тундр, обитают муравьи гипоарктического комплекса (*C.herculeanus*, *F.gagatoides*, *L.acervorum*). На заднем плане по центру — среди лиственничников южного склона на полянах и речинах поселяются *F.lemni*. На днище долины (за пределами поймы) обычна *F.exsecta*, реже — *F.sanguinea*. На шлейфах склонов всех экспозиций в моховых займищах можно найти *M.kamtschatica*. В пойме реки по галечникам и пескам многочисленны поселения *F.picea* и *M.bicolor*.

Здесь и далее фото автора

рода *Formica*, кроме полярного муравья (*F.gagatoides*), как наименее холодостойкие и строящие гнезда не вблизи поверхности почвы, в биотопах с неглубоко оттаивающей водоупорной мерзлотой обычно не живут. Поселения же *F.exsecta* могут все же встречаться, но лишь в местах с особо благоприятным сочетанием условий. А на биотопическом распределении мезофильных видов, располагающих гнезда вблизи поверхности почвы, даже водоупорная мерзлота никак не сказывается. Будто бы ее и нет. Свидетельство тому — очень высокая численность гнезд некоторых видов.

Лидеры

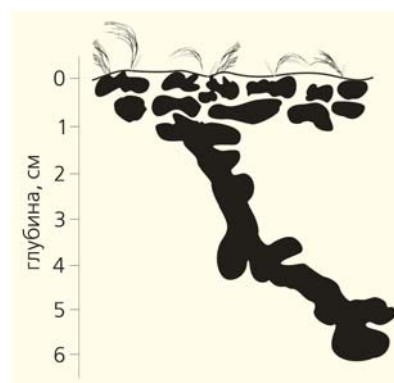
После приведенного описания не должно казаться странным, что муравьи, весьма разнообразные на юго-востоке нашей страны (в Приморье и При-

амурье их примерно 80 видов [4]), на северо-востоке Азии, включая бассейн Индигирки, представлены лишь 18 широко распространенными, в большинстве своем транспалеарктическими видами (таблица). Обеднение почти в 4.5 раза! Примерно половина из них обычна. Таким образом, континентальный горно-лесной северо-восток Азии и в отношении муравьев подтверждает репутацию региона с жестким климатом.

В числе лидеров — лишь три вида. Они повсеместны, в том числе в зональных — холодных и сырых биотопах: в моховых лиственничных редколесьях и зарослях кедрового стланика, на болотах и т.д. Это крошечный (3 мм) *Leptothorax acervorum* и самый крупный (свыше 10 мм) из палеарктических муравьев — древооточец *Camponotus herculeanus*, а также мелкий (5—6 мм) среди муравьев рода *Formica* — полярный муравей.

Названные муравьи — такие же атрибуты Гипоарктики, как шикша, багульники, карликовые безки и др.

Они прекрасно адаптированы и к летним, весьма скудным по теплообеспеченности условиям (кроме как на степных участках), и к зимним холодам. Гнезда *L. acervorum* имеют примитивнейшее строение; многочисленные (до 10 на 1 м²) зимовочные камеры находятся на глубине всего лишь 5—7 см. Древооточец также прокладывает ходы неглубоко (в 5—15 см от поверхности почвы), причем несмотря на условия, в том числе и уровень зеркала мерзлоты. Гнезда обычно строит в мертвой, сухой древесине; на протяжении 0.5—1.5 м от комля непременно на нижней поверхности корней под корой или в толще древесины может находиться до двух-трех десятков камер, которые и служат зимовочными. Именно такое их расположение — свидетельство безразличия обоих видов к низким температурам. Здесь они опускаются до -25...-28°C, а -20°C держится в гнездах около двух месяцев. Полярный муравей устраивает зимовочные камеры чуть глуб-



Гнездо *Leptothorax acervorum*. Поверхностный слой почвы, а с ним и гнезда муравьев подвержены всем превратностям погоды и зимой, и летом. Однако муравьи этого вида, как и *L.muscorum*, без ущерба переносят охлаждение вплоть до -40°C, а личинки — еще и ниже.

же — в 10–15 см, редко 25 см от поверхности почвы, где, разумеется, помягче: минимумы порядка –18...–22°C, но –15°C регистрируется в течение месяца.

Муравей *Myrmica kamschatica* поселяется исключительно в сфагновых и кустарничково-сфагновых редколесьях на шлейфах склонов. Там зеркало мерзлоты даже в период максимального оттаивания опускается не глубже 60–70 см. Соответственно и гнезда устраивает вблизи поверхности моховых подушек. Холодоустойчивость позволяет ему, как и полярному муравью, жить повсеместно. Однако в отличие от него камчатский муравей капризен и за пределами названных биотопов не встречается.

Несправедливо не назвать безусловного рекордсмена среди лидеров — *L.muscorum*. В бассейне Колымы его нет, он найден в соседнем регионе — на северо-востоке Якутии, причем исключительно на участках реликтовых степей. Зимовочные камеры его гнезд, как у *L.acervorum*, неглубоки — 5–10 см. Но северо-восток Якутии холоднее верховьев Колымы. Здесь, вблизи полюса холода, средние

Таблица

Муравьи Центральной Якутии и северо-востока Азии

Виды	Охотоморье	Бассейн верховьев Колымы	Бассейн верховьев Индигирки	Центральная Якутия
<i>Myrmica kamschatica</i>	+	+	–	–
<i>M.bicolor</i>	+	+	–	–
<i>M.transsibirica</i>	+	+	–	–
<i>M.sulcinodis</i>	+	+	–	+
<i>M.angulinodis</i>	+	+	–	+
<i>M.arnoldii</i>	–	–	–	+
<i>Leptothorax acervorum</i>	+	+	+	+
<i>L.muscorum</i>	–	–	+	+
<i>Leptothorax sp.</i>	–	–	–	+
<i>Formicoxenus nitidulus</i>	–	–	–	+
<i>Camponotus herculeanus</i>	+	+	+	+
<i>C.saxatilis</i>	+	+	+	+
<i>Lasius niger</i>	–	–	–	+
<i>Formica picea</i>	+	+	+	+
<i>F.gagatoides</i>	+	+	+	+
<i>F.fusca</i>	+	–	+	+
<i>F.lemanii</i>	+	+	–	+
<i>F.truncorum</i>	+	+	–	+
<i>F.sanguinea</i>	+	+	–	+
<i>F.exsecta</i>	+	+	–	+
<i>F.aquilonia</i>	+	–	–	+
<i>F.lugubris</i>	+	–	–	+
<i>F.pratensis</i>	–	–	–	+
<i>F.longiceps</i>	–	–	–	+
<i>F.pisarskii</i>	–	–	–	+
<i>F.cunicularia glauca</i>	–	–	–	+
<i>F.uralensis</i>	–	–	–	+
ВСЕГО	17	14	7	24

* Желательно подтвердить новыми находками.



Самый крупный муравей бореальных лесов — древоточец *Camponotus herculeanus* и один из самых мелких — *Leptothorax acervorum*. Эти муравьи — такие же атрибуты Гипоарктики, как шикша, багулькики, карликовые березки и др.



Зимовочные камеры муравья-древоточца иногда расположены и в тонких корнях диаметром не более 10 см.



Мохово-лишайниковое лиственничное редколесье с водоупорной мерзлотой на пологом шлейфе склона — типичный элемент колымского ландшафта. Здесь царство гипоарктического комплекса муравьев (*C. herculeanus*, *F. gagatooides*, *L. acervorum*), вместе с которыми поселяется и *M. kamtschatica*. Вешками с красными верхушками помечены гнезда только *L. acervorum*.

абсолютные минимумы температуры в декабре—январе опускаются до $-61...-63^{\circ}\text{C}$. Летом крошечные участки реликтовых степей не только самые теплые (максимальная температура на глубине 10 см порядка $27-29^{\circ}\text{C}$) среди всех других местообитаний в регионе. Они к тому же самые сухие — влажность почвы около 2–5%. Таким образом,

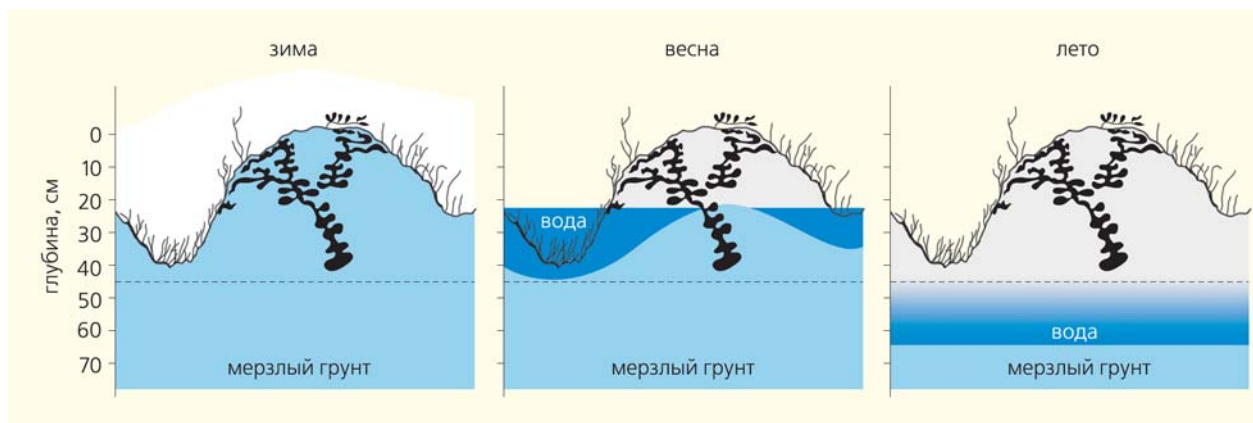
L. muscorum приспособлен и к зимнему холоду, и к летней жаре, и к сухости субстрата. Однако эти феноменальные способности сочетаются с какой-то непонятной пока адаптивной ущербностью: вид отсутствует за пределами степных участков, что-то сдерживает его распространение. Ясно, что не потребность в высокой температуре

летом, поскольку в Европе и Америке *L. muscorum* — несомненный широкий мезофил. Может быть, жизнь в пекле всего лишь «защита» от хищников и от конкуренции со стороны *L. acervorum*? Да и *muscorum* ли он? Нужно генетическое подтверждение...

Аутсайдеры

Пять других видов муравьев (четыре из рода *Formica* и один — *Myrmica*) встречаются на Верхней Колыме много реже видов-лидеров, но все же обычны настолько, что могут быть обнаружены практически на любом отрезке ее долины или на прилегающих территориях. Требования к условиям постройки гнезд и размещения зимовочных камер трех из них резко различны.

Для *F. lemani* главное — возможность построить гнездо с зимовочными камерами на большой глубине, где температуры будут не ниже $-14...-17^{\circ}\text{C}$. Участок может быть даже жарким (например, на крутом степном склоне), пусть и совсем сухим (влажность поверхностных горизонтов почвы практически... отсутствует). Ходы в рыхлом сложенном сланцевом плитняке шахтным стволом уходят на глу-

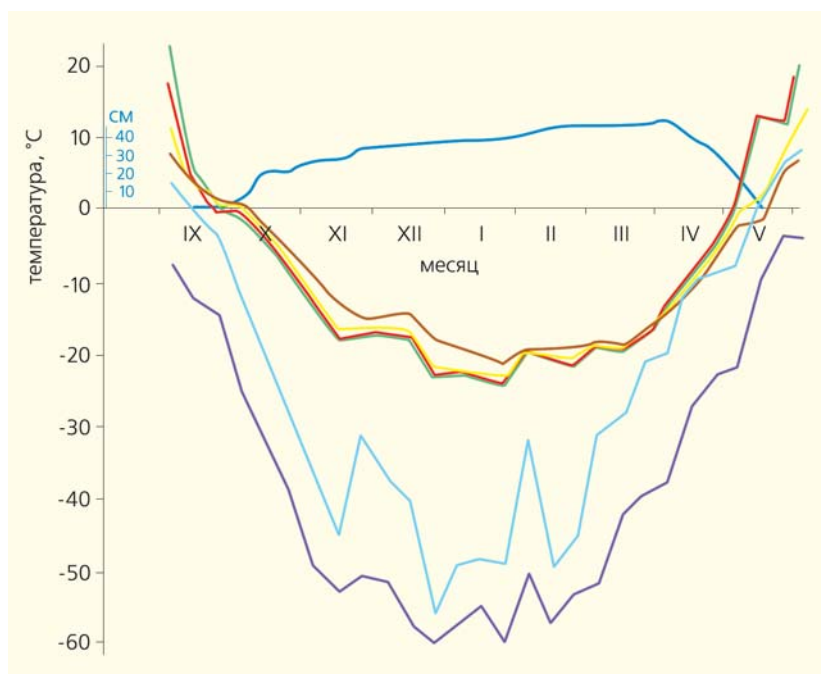


Гнезда *Myrmica kamtschatica* в разные сезоны. Только к июлю мерзлота отступает (максимум на 60–70 см), а следом понижается уровень надмерзлотных вод, освобождающих, наконец, нижние — зимовочные — камеры. Вся жизнь в теплое время года сосредоточена в верхней части моховой кочки. Пунктирной линией обозначена граница между торфом и минеральным грунтом.

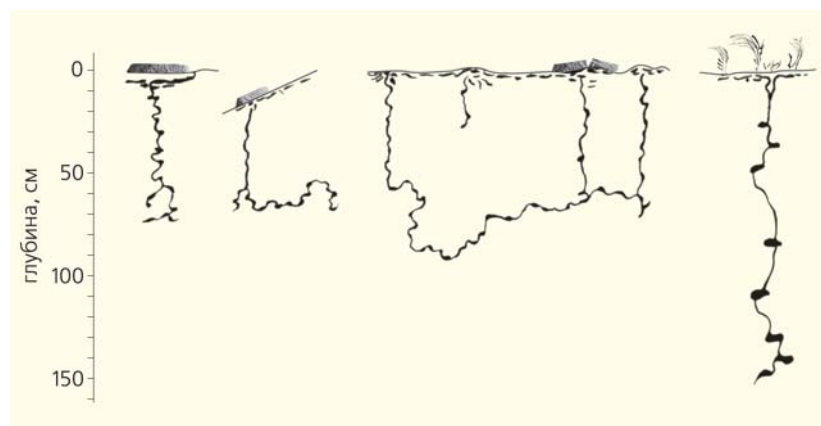
бину до двух метров, где в зрелых гнездах обнаруживается сложная и протяженная сеть: там влажнее и, возможно, из почвенного воздуха конденсируется влага, достаточная для жизни. Можно выбрать и нужную для личинок температуру в градиенте «60°C на поверхности — 0°C на 2.5—3.5 м». Чем по устройству не гнездо пустынных муравьев с его глубинными ходами для сбора влаги?! Но найдите-ка на Колыме такие участки, они очень редки...

Муравей *F.exsecta* также привередлив к зимним условиям (не переносит температуры ниже -14°C), но может довольствоваться скудным летним теплом и строить гнезда чуть ли не в любых по увлажнению биотопах и располагать зимовочные камеры на глубине от 40 см до почти 2 м; под снежными надувами зимовочные камеры могут быть и в 10 см от поверхности.

F.picea на юге Сибири живет почти везде: от болот и пойм до сухих степей, избегает лишь сомкнутых лесов и горных тундр. На северо-востоке же использует единственный вариант из многих возможных в других частях ареала — заселяет почти исключительно песчано-галечниковые поймы рек. Здесь он вынужден переносить длительное затопление паводками; вопреки им успевает, как и все его сородичи, развиваться за один сезон от яйца до яйца («расплод» никогда не зимует). В этих экзотических для муравьев условиях бок о бок с *F.picea* живет вид другого рода — *M.bicolor*, устраивающий подобные же гнезда, — почти полная конвергенция! Но расплод, как и у всех муравьев этого рода, зимует, а это уже иная адаптивная стратегия, и ее мы обсудим чуть позже. В поймах даже крупных рек зимой у поверхности не теплее, чем на внепойменных территориях, поэтому зимовочные камеры всегда глубоко в гальке с песком. Явно, что с поймами эти виды связывает отнюдь не смягченный вариант зимовки.



Температурные условия зимой в гнезде *L.muscorum* в Оймяконской котловине. Из-за раннего формирования снежного покрова (его изменение показано синей кривой) условия, приведенные на рисунке, не самые жесткие; в малоснежный год бывает много хуже, но холодоустойчивость этого вида столь велика, что погода практически не влияет на благополучие зимовки. Среднедекадные температуры почвы (на глубине 1 см — зеленая кривая, 5 см — красная, 15 см — желтая, 40 см — коричневая) и воздуха (среднесуточная — голубая кривая, абсолютный минимум за декаду — фиолетовая).



Варианты (по степени сложности) гнезд *F.letani* в зависимости от грунта и местообитания. В континентальных районах они всегда располагаются на хорошо дренируемых участках с «сухой» мерзлотой, проявляющейся только отрицательными температурами на глубине 2.5—3.5 м, да отдельными кристалликами льда, не способными скрепить грунт в ледовый бетон. Влажность почвы и грунтов вблизи поверхности ничтожна, но на глубине влага конденсируется из-за низкой температуры, поэтому гнезда *F.letani* аналогичны по устройству гнездам пустынных муравьев.



Самый крупный в Магаданской обл. остепненный склон южной экспозиции близ г.Сусуман (верховье Колымы), подрезанный автострадой Магадан—Усть-Нера. В Северо-Восточной Якутии на основной части склона обитал бы *L.muscorum*, по периферии — *L.acervorum*. Здесь же царит *F.lemani*, это его излюбленное местообитание. По краям ложбин в массе селится *L.acervorum*, из лесу заползает *C.herculeanus*.



Молодое гнездо *F.exsecta* в лишайниковом редкостойном лиственничнике с кедровым стлаником.

Фото А.Н.Лейрих

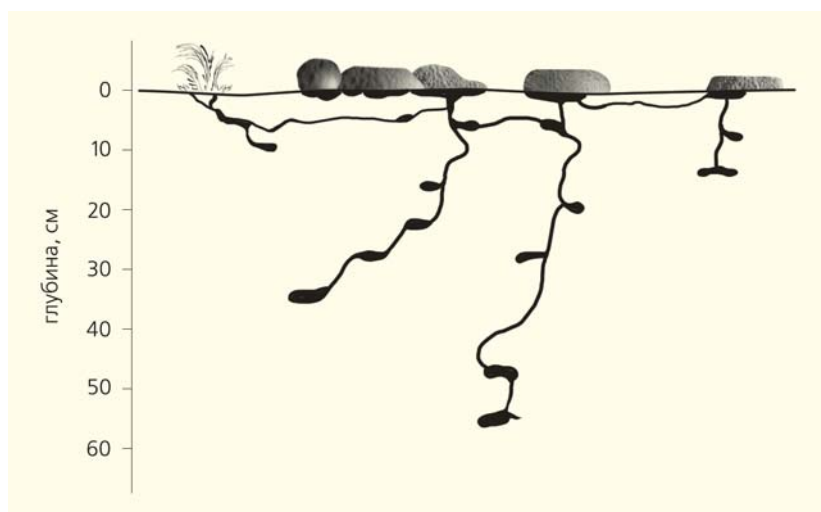
Завершая описание устройства гнезд, заметим, что и у лидеров, и у аутсайдеров гнезда, конечно, в разной мере варьируют по расположению, используемому материалу и т.д., но их «строительный стереотип» всегда строго выдерживается. Не бывает гнезд лидеров с глубоким расположением камер и, напротив, — гнезд аутсайдеров (кроме *F.exsecta*) с поверхностным расположением даже в местах, где температуры зимой достаточны для успешной зимовки.

«Резерв холодоустойчивости» как критерий приспособленности

Муравьи, все без исключения, относятся к организмам, избегающим замерзания и способным зимовать в состоянии переохлаждения — замерзание жидкостей тела для них губительно. Средние температуры максимального переохлаждения составляют -40°C у *L.acervorum*, *L.muscorum*, *C.herculeanus*; -30°C у *F.gagatoides*, *M.kamtschatica* и *M.bicolor*; -25°C у *F.picea*; -22°C у *F.lemani* и *F.exsecta*; -18°C у *F.sanguinea*. Максимальная зарегистрированная температура переохлаждения -58.1° (личинки *L.muscorum*), и это значение можно рассматривать в качестве рекордного для муравьев вообще. Порог же длительно переносимых температур у всех видов лежит выше средних величин температур переохлаждения примерно на $3-7^{\circ}\text{C}$.

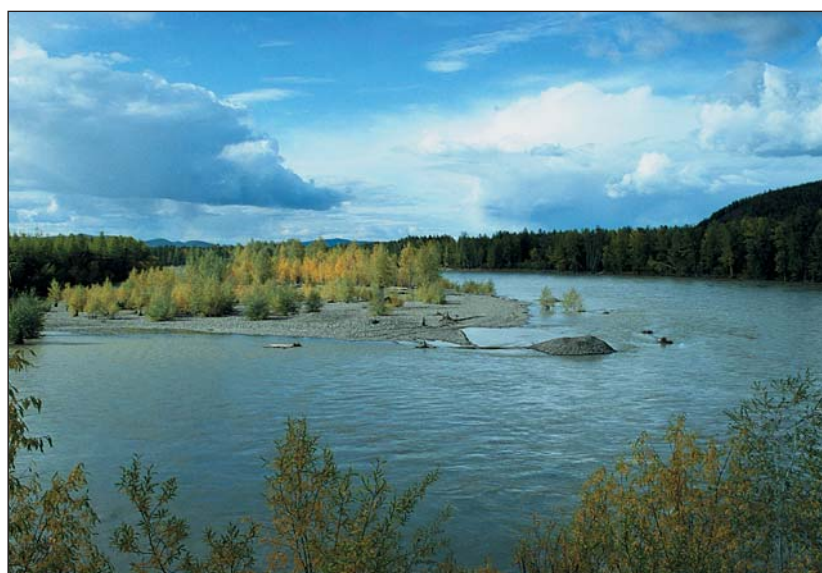
В других, климатически более мягких регионах все эти показатели много выше. К примеру, на юге и севере Финляндии и даже на побережье Охотского моря под Магаданом средняя зимняя холодоустойчивость каждого изученного вида рода *Formica* весьма точно совпадает с ее летним значением, которую мы называем неспецифической в силу отсутствия адаптивного смысла. От лета к зиме на упомянутых территориях холодо-

Гнездо *F.ricea*. Его «архитектура» несложна, по устройству оно неотлично от гнезд *M.bicolor*. Прогревочные камеры всегда расположены под плоской галькой, а многочисленные выходы открываются во многих местах, чаще — на голой поверхности или в куртинках чахлах растений, но никогда — в плотной тени деревьев. Ходы и камеры на глубине используются не только для зимовки, они служат убежищами во время паводков.



Этот пойменный полуостров с чозенией — местообитание *F.ricea* и *M.bicolor* — регулярно заливается паводками. В некоторые годы гнезда остаются под водой более месяца. И без того короткий сезон положительных температур — никак не больше четырех с половиной месяцев — сокращается для этих видов почти на четверть. Но и трех месяцев им достаточно для развития от яйца до взрослого состояния.

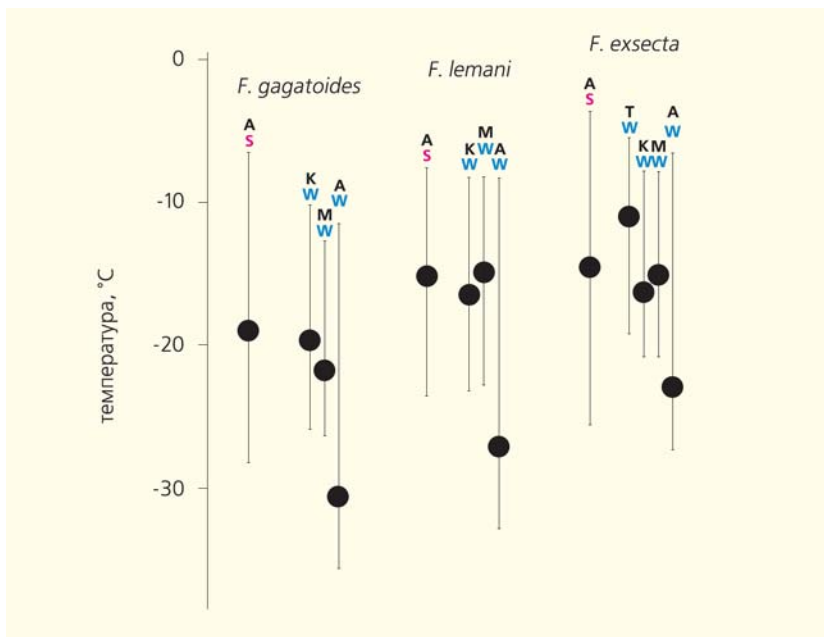
Фото А.В.Алфимова



В таком сыпучем субстрате *F.ricea* и *M.bicolor* роют свои гнезда. На солнце и ветерке песок подсыхает, и выходы постоянно обрушиваются, муравьи вынуждены их все время поправлять. После паводков же все надо делать заново. На переднем плане — многочисленные обновленные выходы из гнезда *F.ricea*. Для масштаба положена зажигалка.

Фото А.Н.Лейрих





На юге и севере Финляндии и даже на побережье Охотского моря под Магаданом средняя зимняя холодоустойчивость каждого изученного вида рода *Formica* весьма точно совпадает с ее летним значением. От лета к зиме холодоустойчивость не растет — муравьи обходятся летней. Лишь в жестком климате регионов, лежащих в области Якутского отрога Сибирского антициклона, муравьи должны иметь много более высокую устойчивость к холоду. Средние значения и пределы колебаний температуры максимального переохлаждения рабочих муравьев на «Аборигене» (А), на севере (Кево) и юге (Твармине) Финляндии (соответственно — К и Т), под Магаданом (М); S — летом, W — зимой.



Лиственничное редколесье на северном склоне, 550 м над ур.м. Зимой здесь мало снега (подветренный склон), потому в почве холодно. Летом холодно из-за северной ориентации и сыро из-за близкого расположения зеркала мерзлоты, по которому сползают целые блоки грунта (солифлюкция) вместе с деревьями. Так формируется «пьяный лес». Однако *S.herculeanus*, *F.gagatoides* и *L.acervorum*, судя по числу гнезд, и здесь благополучны.

Фото автора

устойчивость не растет, имеющейся неспецифической оказывается достаточно для успешной зимовки [5]. Но подобные температурные условия и еще более мягкие свойственны большей части зимней России, кроме регионов с ультраконтинентальным климатом, определяемым ядром Сибирского антициклона. В связи с этим есть основания полагать, что муравьи обходятся летней холодоустойчивостью в огромном диапазоне зимних условий, благодаря чему и была ими колонизована большая часть площади их ареалов на Севере. Лишь в значительно более жестком климате бассейна Колымы (как и других регионов, лежащих в области Якутского отрога Сибирского антициклона) муравьи должны иметь много более высокую холодоустойчивость. Насколько?

Присутствие вида на данной территории само по себе означает, что вид адаптирован к местным условиям. Мерило же степени соответствия холодоустойчивости насекомых условиям зимовки может быть «резерв холодоустойчивости», определяемый нами как разница между порогом переносимых насекомыми температур и минимальными температурами в гнездах. Он особенно велик у *L.muscorum*, *L.acervorum* и *S.herculeanus* (10–15°C), что и гарантирует сохранность популяции этих видов практически повсеместно и всегда — даже в малоснежные и холодные зимы. У *F.gagatoides*, *F.picea*, *M.kamtschatica* и *M.bicolor* резерв вдвое меньше: 5–7°C. Два последних распространены предельно узко, но ограничивающие их факторы связаны с летними условиями. Полярному муравью он достаточен для крайне широкого распространения: и географического — в Гипоарктике, и биотопического — в любом, даже самом холодном районе. Более того, он может «позволить себе» строить неглубокие гнезда. По степени адаптированности к зимнему холоду полярный муравей весь-

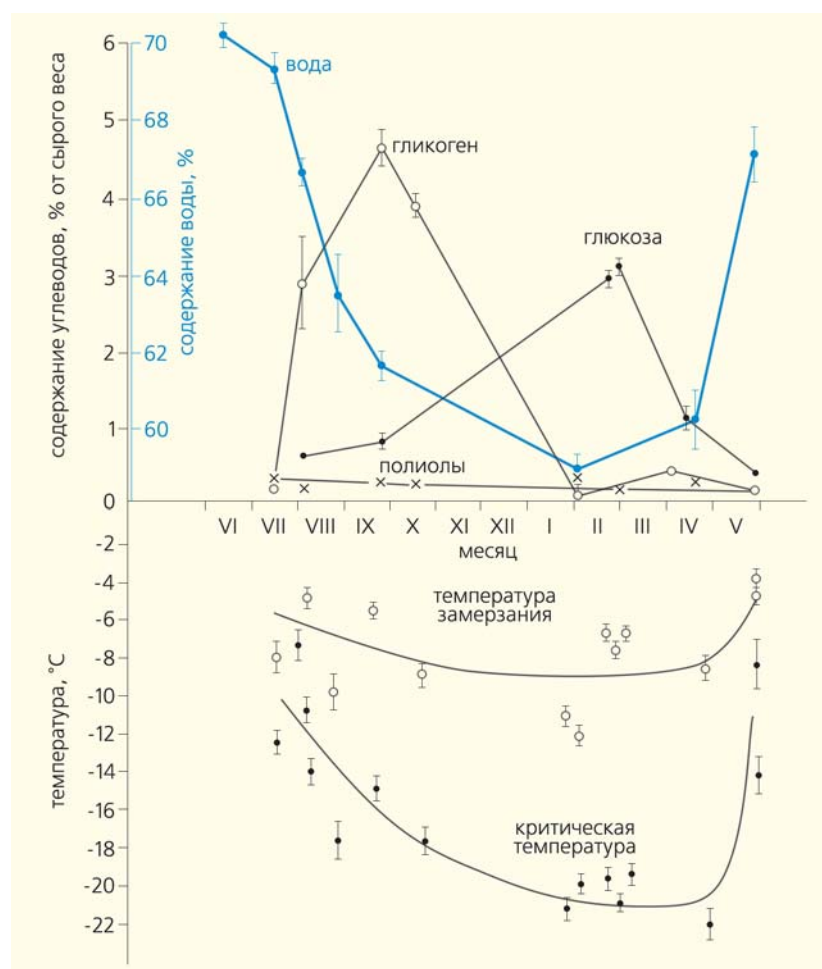
ма близок к рекордсменам холодоустойчивости — *S.berculeanus* и двум видам рода *Lepthorax*. В этом отношении (а не только из-за распространения) *F.gagatoides* оправдывает свое русское название — «полярный муравей».

Остальные четыре вида рода *Formica* минимально холодоустойчивы, резерв не превышает 2–3°C, а в неблагоприятные годы отсутствует вовсе; соответственно, и распространены они локально.

Криопротекторы и адаптивная стратегия

По биохимическим механизмам обеспечения холодоустойчивости и сезонной изменчивости температурных характеристик исследованные виды подразделяются на две группы. У первой группы (*L.acervorum*, *L.muscorum*, *S.berculeanus*, *M.kamtschatica*, *M.bicolor*) температуры максимального переохлаждения от лета к зиме меняются значительно, максимально на 25–30°C (главным образом за счет снижения температуры замерзания); в основе механизма криопротекции лежит накопление полиолов (многоатомных спиртов) до 10–20% от веса тела. Во второй группе (*Formica*) изменение холодоустойчивости от лета к зиме составляет только 6–12°C, температура замерзания падает лишь на 1–6°C; полиолов немного (0.4–2%), но зимой растет концентрация сахаров (3–6%).

Таким образом, биохимические основы защиты от холода в основных чертах задаются родовым уровнем. Однако принадлежность к роду и даже подроду, по-видимому, определяет адаптивную стратегию холодоустойчивости конкретного вида далеко не полностью. Три вида — *F.lemani*, *F.picea* и *F.gagatoides*, относящиеся к одному подроду (*Serviformica*) и обитающие здесь в нехарактерных в целом



Содержание углеводов и воды (вверху) у рабочих особей *F.exsecta* существенно меняется от лета к зиме, обеспечивая лишь невысокую холодоустойчивость этого вида. На температурном поле кружочками со штрихами обозначены средние значения и дисперсия показателя в разных гнездах.

для рода условиях [6], — имеют, между тем, крайне различную холодоустойчивость. У *F.lemani*, *F.picea* она весьма «средняя» (по отношению ко всему диапазону холодоустойчивости изученных видов); у *F.gagatoides* достигает столь значительных величин, что оказывается близкой к таковой у представителей рода *Myrmica*, обладающих иной биохимической обеспеченностью.

В целом же наши муравьи используют три адаптивных стратегии к низким температурам зимовки. У *S.berculeanus*, *L.acervorum* и *L.muscorum* все построено на физиолого-биохимических возможностях — очень вы-

сокая устойчивость к холоду обеспечивается накоплением антифризов, что позволяет им зимовать непосредственно у поверхности почвы. В основе адаптивного пути второй группы (*F.gagatoides*, *M.kamtschatica* и *M.bicolor*) — компенсация недостаточности физиолого-биохимических возможностей поведенческими адаптациями. Эти муравьи могут жить где угодно, устраивая зимовочные камеры поглубже. Третья группа, включающая наиболее чувствительные к холоду виды из рода *Formica*, существует лишь в особых, благоприятных для них условиях, складывающихся в не-

большой группе местообитаний; ее физиолого-биохимические возможности невелики. Таким образом, хотя физиолого-биохимическая основа задается на уровне рода, адаптивная стратегия видов сугубо индивидуальна и осуществляется различными сочетаниями физиолого-биохимических и поведенческих механизмов. В ряде случаев интегральные адаптивные возможности представителей разных родов могут быть практически одинаковы.

Ярчайший пример тому — ключевой для понимания адаптивной стратегии вид — полярный муравей. Ко многому уже сказанному о нем добавим, что его изначальный адаптивный потенциал принципиально ограничен по сравнению с близкими с ним по холодоустойчивости *L.acervorum* и *S.berculeanus*. Дело в том, что они способны растягивать онтогенез на несколько лет за счет зимовки личинок; полярный же муравей — «однолетник», а это значит, что он нуждается для прохождения онтогенеза в повышенном и одновременно гарантированном количестве тепла (если тепла будет недостаточно, расплод погибнет). В целом же эффект использования разных стратегий всех этих муравьев, оцениваемый, например, по численности гнезд и ши-

роте спектра населяемых биотопов, оказывается также весьма близок.

Холодоустойчивость и распространение

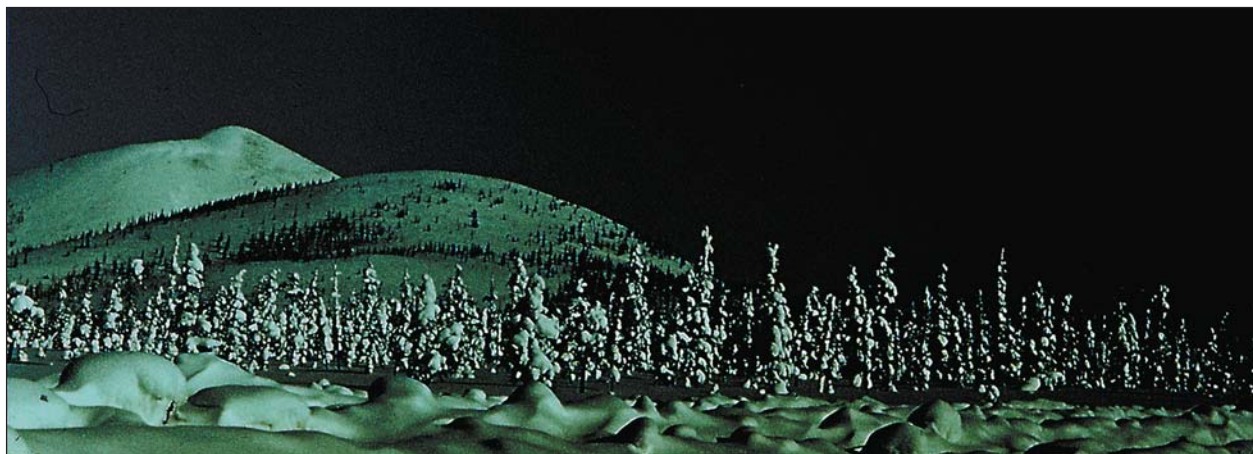
В какой мере реализован потенциал холодоустойчивости у муравьев верховий Колымы? Мы полагаем, что полученные характеристики для большинства видов, по-видимому, близки к предельно возможным для всех муравьев. Косвенно об этом свидетельствует их географическое распространение.

На запад от верховий Колымы к верховьям Индигирки идет постепенное выпадение всех видов рода *Formica*, кроме *F.gagatoides*, *F.picea* и, возможно, *F.fusca* (см. табл.). Поскольку сравниваемые фауны относятся к регионам, удаленным от океана и лежащим на одной широте, постольку дело не в летнем тепле, а только в зимних условиях. На Колыме резерв холодоустойчивости для рода *Formica* (повторяем, кроме полярного муравья и *F.picea*) очень мал — всего 2–3°C. В Оймяконской же котловине средняя многолетняя январская температура воздуха (по данным одноименной метеостанции) составляет –49.5°C (при среднемноголетнем мини-

муме –64°C) против –35.2°C в верховьях Колымы (метеостанция Усть-Омчуг). Мощность снежного покрова в самые холодные месяцы на Колыме в полтора-два раза больше, чем на Индигирке (40–50 и 30 см соответственно). Как следствие, среднемесячные температуры почвы на глубине 20–40 см в верхней части бассейна Индигирки падают до –23...–24°C против –15...–18°C в верховьях Колымы. Понятно, что резерва холодоустойчивости у муравьев рода *Formica* (за названными исключениями) на Индигирке в таких условиях не остается, поэтому и самих видов нет.

Еще западнее — в Центральной Якутии — фауна муравьев содержит не менее 24 видов [7], т.е. богаче фауны бассейна Колымы на 10 видов, а бассейна Индигирки — на 14. Муравьев рода *Formica* там 14 видов против 9 в Магаданской обл. (см. табл.). Очевидно, что дело в климате: в Якутске и летом, и, главное, зимой теплее, чем в Оймяконе, — почти на 6°C выше средняя температура воздуха в январе, а минимумы в почве на глубине 20–40 см не превосходят –15...–18°C, что даже выше, чем в верховьях Колымы.

А вот распространение многих видов на север и северо-восток, вероятно, ограничивают



Снежная зима в Северо-Восточной Якутии. В центре антициклона ветер — крайняя редкость, и снежная кучта может лежать на деревьях до весны.

Фото автора

иные факторы. Это нетрудно показать. Большинство видов муравьев севернее границы леса не идет. Только по сухим и теплым бровкам речных террас и морен в горных тундрах, выдвинутых в тундровую зону, а также в кустарниковых тундрах встречаются полноценные гнезда *L.acervorum*. Завершение этой тенденции проявляется в отсутствии каких бы то ни было муравьев в зональных тундрах. На Аляске ситуация аналогична. Между тем, тундры Чукотки лежат в области январских изотерм от -20°C (метеостанция Уэлен) до -28°C (метеостанция Певек); мощности снежного покрова в верховьях р.Колымы и на Чукотке близки. Поэтому зимние температуры почв в тундрах даже в среднем не ниже таковых в верховьях Колымы и, тем более, Индигирки. Поскольку *C.berculeanus*, *L.acervorum* и *F.gagatoides* широко распространены в верховьях Колымы, Индигирки и Яны, повторимся — на территориях с самой суровой зимой из возможных в Северном полушарии, можно считать отсутствие этих муравьев в тундровой зоне связанным с летними обстоятельствами.

Если зима еще суровее...

Вот так и зимуют муравьи на Северо-Востоке; добавим — сейчас, в конкретной климатической обстановке. Однако она, как

известно было еще Кузьме Пруткову («...все же непостояннее петербургская атмосфера»), переменчива даже на коротких временах, не говоря уже о том, что каких-то 10—12 тыс. лет назад был плейстоцен с его ледниковыми катаклизмами. Как называется на благополучии муравьев ужесточение зимы?

Понятно, что виды с большим резервом холодоустойчивости безразличны к понижению температур на глубине расположения зимовочных камер. Более того, они явно благоденствуют. Нетрудно предположить, что благодаря снижению общего биоразнообразия, ослаблению пресса хищников и конкурентов здесь, на краю ареала, складывается «биотический оптимум» [8]. Именно с этим, скорее всего, связана уже упоминавшаяся колоссальная численность *L. acervorum* в нашем регионе.

Не менее показательный пример — удивительный ареал полярного муравья [9], лежащий к северу от 60° с.ш. (хотя, наверное, по горным системам этот вид может проникать вместе с охотской биотой до бассейна Амура). Понятно, что южнее 60° с.ш. гидротермические условия для полярного муравья не хуже. Сюда его не пускают, вероятнее всего, свои же собратья — весьма обширная группа лесных видов рода *Formica* из числа широких палеарктов.

Свидетельством обстановки с ослабленной конкуренцией,

складывающейся в горно-лесных районах Северо-Восточной Азии, служит крайне слабая видовая насыщенность комплексов муравьев. Число совместно обитающих видов обычно не превосходит четырех; лишь в единственном из многих десятков изученных биотопов к гипоарктической троице присоединяются *F.exsecta* и *F.sanguinea*. Обычно же добавляется только один из аутсайдеров.

Выносливость гипоарктического комплекса муравьев поразительна. Мало того, что они вездесущи ныне. Остатки хитина *C.berculeanus*, *L.acervorum* и двух видов рода *Formica* найдены в отложениях позднего плейстоцена ряда разрезов северо-востока Азии [10]. Один из них, несомненно, *F.gagatoides*, второй, вероятнее всего, *F.picea*. Не содержится ли в этих фактах указание на еще более высокую холодоустойчивость муравьев, нежели выявлена нами? Если нет, то ископаемые остатки муравьев можно использовать в качестве надежных температурных индикаторов, в соответствии с которыми придется корректировать наши представления о зимних условиях плейстоцена.

Одним словом, нужно пере-проверить предельные значения холодоустойчивости муравьев. А для этого нужна экспедиция в район полюса холода — все-таки поближе к... плейстоцену. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 04-04-48187.

Литература

1. Ушатинская Р.С. Скрытая жизнь и анабиоз. М., 1990.
2. Insects at low temperature / Eds R.E.Lee, D.L.Delinger. N.Y., 1991. P.1—513.
3. Хансен Т.Э., Вийк М.О. // Зоол. журн. 1981. Т.60. Вып.3. С.380—387.
4. Купянская А.Н. Муравьи (Hymenoptera, Formicidae) Дальнего Востока СССР. Владивосток, 1990.
5. Берман Д.И., Жигульская З.А. // Успехи современной биологии. 1995. Т.115. Вып.6. С.677—691.
6. Чернов Ю.И. // Зоол. журн. 1988. Т.67. Вып.10. С.1445—1457.
7. Дмитриенко В.К., Петренко Е.С. Муравьи таежных биоценозов Сибири. Новосибирск, 1976.
8. Арнольди К.В. // Зоол. журн. 1957. Т.36. Вып.11. С.1609—1629.
9. Длусский Г.М. Муравьи рода формика. М., 1967.
10. Киселев С.В. Позднекайнозойские жесткокрылые северо-востока Сибири. М., 1981.

Беспокойная жизнь лавовых куполов

О.Э.Мельник, А.А.Бармин, С.Спаркс

Обычно вулканическое извержение представляется нам в виде огромных туч пепла, застилающих небо до горизонта, либо потоков жидкой лавы, сжигающей все на своем пути. Однако есть тихие вулканы, из жерла которых, как паста из тюбика, выдавливается очень вязкая, почти закристаллизовавшаяся магма. Такие извержения называют экструзивными, а их продукты — экструзивными, или лавовыми, куполами.

Казалось бы, подобные извержения не представляют никакой опасности для населения и поэтому их изучение и мониторинг носит чисто академический интерес. Однако это не так. Немногим более 100 лет назад медленный рост лавового купола вулкана Монтань-Пеле на о.Мартиника в Карибском море прервался мощным направленным взрывом, породившим раскаленную лавину, скатившуюся со склона со скоростью более 60 км/ч. Город Сен-Пьер был разрушен в считанные минуты. Из 30 тыс. жителей уцелели только двое. Одно из них спасли толстые стены местной тюрьмы.

Горячие лавины, образующиеся при обрушении лавовых куполов, называются пирокластическими потоками. Они несут огромное количество раздроб-



Олег Эдуардович Мельник, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией общей гидромеханики Научно-исследовательского института механики МГУ им.М.В.Ломоносова. Занимается приложениями механики многофазных сред к исследованию вулканических извержений. Награжден медалью им.Л.Р.Вейджера Международной ассоциации вулканологии и химии недр Земли (IAVCEI).



Алексей Алексеевич Бармин, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник той же лаборатории. Профессор кафедры гидромеханики механико-математического факультета МГУ. Область научных интересов — динамика природных систем, теория фильтрации и магнитная гидродинамика. Лауреат Государственной премии (2004) и премии им.С.А.Чаплыгина.



Стивен Спаркс (Robin Stephen John Sparks), профессор Бристольского Университета (Великобритания), член Английского Королевского общества, вице-президент IAVCEI. Круг научных интересов охватывает вулканологию, геофизику, петрологию, мониторинг активных вулканов.

© Мельник О.Э., Бармин А.А., Спаркс С., 2006

ленного материала, от тонкого пепла до фрагментов размером с дом. Такие потоки сопровождают практически все экструзивные извержения, пополняя ежегодно список их жертв. Иногда обрушившийся купол обнажает подводящий канал вулкана, в котором под большим давлением находится относительно подвижная, газонасыщенная магма. Тогда извержение переходит во взрывную (эксплозивную) стадию, скорость продуктов и зона поражения возрастают на порядки. Например, на вулкане Безымянный на Камчатке в 1956 г. после нескольких месяцев роста купола произошло одно из крупнейших эксплозивных извержений прошлого века, в результате которого было выброшено около 4 км³ раздробленного материала. Подобная смена режимов наблюдалась на вулканах Шивелуч на Камчатке, Маунт Сент Хеленс (США), Маунт Унзен (Япония), Мерапи (Индонезия) и многих других. Именно поэтому изучение и мониторинг активных лавовых куполов — одна из приоритетных задач современной вулканологии. В наше время происходит активный рост куполов на вулканах Шивелуч и Безымянный, Маунт Сент Хеленс, Сантьягито в Гватемале, Суффриер Хиллз на о.Монтсеррат в Карибском море и некоторых других.

Вулканологическими обсерваториями в последнее время собран богатейший материал, позволяющий очень детально проследить ход извержения. Измеряются объемы извергнутого материала, интенсивность выноса вулканических газов, землетрясений и деформаций земной поверхности. По данным спутниковых и наземных наблюдений оценивается температура магмы, ведется мониторинг изменения ее химического состава. К сожалению, все измерения относятся либо к процессам, происходящим на поверхности, либо, как регистрация сейсмических сигналов или деформации пород, дают лишь косвенное представление о происходящем в земных недрах. Многие данные крайне трудно интерпретировать и связать с наблюдаемыми поверхностными явлениями. Построить же адекватную физическую модель, которая бы позволила использовать имеющийся материал для прогноза поведения вулкана даже в сравнительно недалеком будущем, пока никому не удалось.

С проблемами интерпретации наблюдений на вулкане Суффриер Хиллз столкнулся один из авторов статьи. Начиная с 1995 г., когда вулкан пробудился из более чем четырехсотлетней спячки, Стивен Спарк в тесном сотрудничестве с коллективом вулканологической обсерватории на о.Монтсеррат изучал его извержение. Мы расскажем о результатах математического моделирования экструзивных извержений, которые позволили объяснить многие наблюдаемые факты.

Наверное, первым вулканологом можно считать Плиния Младшего, оставившего описание извержения Везувия в 79 г. н.э., уничтожившего города

Помпеи и Геркуланум. Однако вулканология как наука начала складываться в середине прошлого века. Применение же методов механики к описанию извержений относится к 80-м годам. Тогда практически одновременно в Великобритании [1] и России [2, 3] были предложены одномерные стационарные модели эксплозивных извержений, и к настоящему времени этот тип извержения исследован достаточно детально [4]. Экструзивным извержениям уделялось существенно меньшее внимание, всплеск интереса к ним возник после начала извержения вулкана Суффриер Хиллз в 1995 г. [5].

Как это происходит

Магма представляет собой многокомпонентную среду, состоящую из силикатного расплава, различных кристаллов, растворенных газов (вода, углекислый газ и др.), а также газа в виде отдельных пузырьков. Перед извержением она накапливается



Рис. 1. Лавовый купол вулкана Суффриер Хиллз на о.Монтсеррат (вверху) и схема строения вулканической системы для экструзивного режима извержения. Очаг, расположенный в земной коре, подпитывается свежей магмой с расходом Q_{in} . С растущим куполом он связан каналом, по которому происходит истечение с расходом магмы Q_{out} . При подъеме за счет падения давления происходит рост пузырьков, их слияние и опережающий отток газа по подвижной пористой среде. Дегазация приводит к изменению температуры плавления магмы и ее кристаллизации.

в периферических очагах, находящихся в верхней коре и связанных с поверхностью подводящим каналом или системой каналов (рис.1). При подъеме за счет значительного падения давления в магме происходят сложные физико-химические процессы. В основном они связаны с выделением растворенных газов, которое приводит к образованию и росту пузырьков, резкому (на несколько порядков) росту вязкости магмы, изменению температуры плавления (ликвидуса). Последнее, наряду с остыванием, приводит к образованию и росту кристаллов. При некоторых условиях возможно дробление пузырьковой жидкости с образованием смеси газа с частицами магмы. В этом случае происходит взрывное извержение.

Отметим две особенности экструзивных извержений, подтвержденные многочисленными данными полевых наблюдений. Во-первых, расход магмы (скорость изменения объема купола) может меняться в десятки, сотни и даже тысячи раз за незначительное по сравнению с длительностью извержения время (рис.2). Такие изменения могут носить достаточно регулярный характер — как на вулканах Маунт Сент Хеленс [6] и Сантьягито [7], или достаточно хаотичный — как на Шивелуче [8]. При этом периоды активного роста купола, когда возможны взрывы, сменяются периодами крайне малой активности или даже полным прекращением извержения. Время пульсаций расхода магмы изменяется от десятков

дней (Сент Хеленс) до 10–15 лет (Сантьягито). Во-вторых, магма, слагающая лавовые купола, содержит 10–30 объем.% пузырьков. Оценки показывают, что при декомпрессии магмы, изначально содержащей 5–7 вес.% растворенного газа, пузырьки должны занимать до 99% ее объема. Магматический материал с такой пористостью в природе не встречается. Эти и другие особенности экструзивных извержений требуют своего объяснения.

От простого к сложному

Мы предложили простую механическую модель, позволившую объяснить резкие колебания расхода магмы при росте лавовых куполов [9]. Она основывается на корреляции расхода магмы с количеством в ней кристаллов, наблюдавшейся для вулкана Маунт Унзен [10] и ряда других вулканов. Было отмечено, что степень кристаллизации магмы обратно пропорциональна ее расходу (магма, извергавшаяся быстро, содержит относительно небольшое количество кристаллов). При этом рост кристаллов происходит не из-за остывания магмы (тепловые потери при подъеме, как правило, невелики), а из-за изменения температуры ликвидуса за счет перехода растворенных газов в пузырьки. Рост количества кристаллов приводит к увеличению вязкости магмы, причем

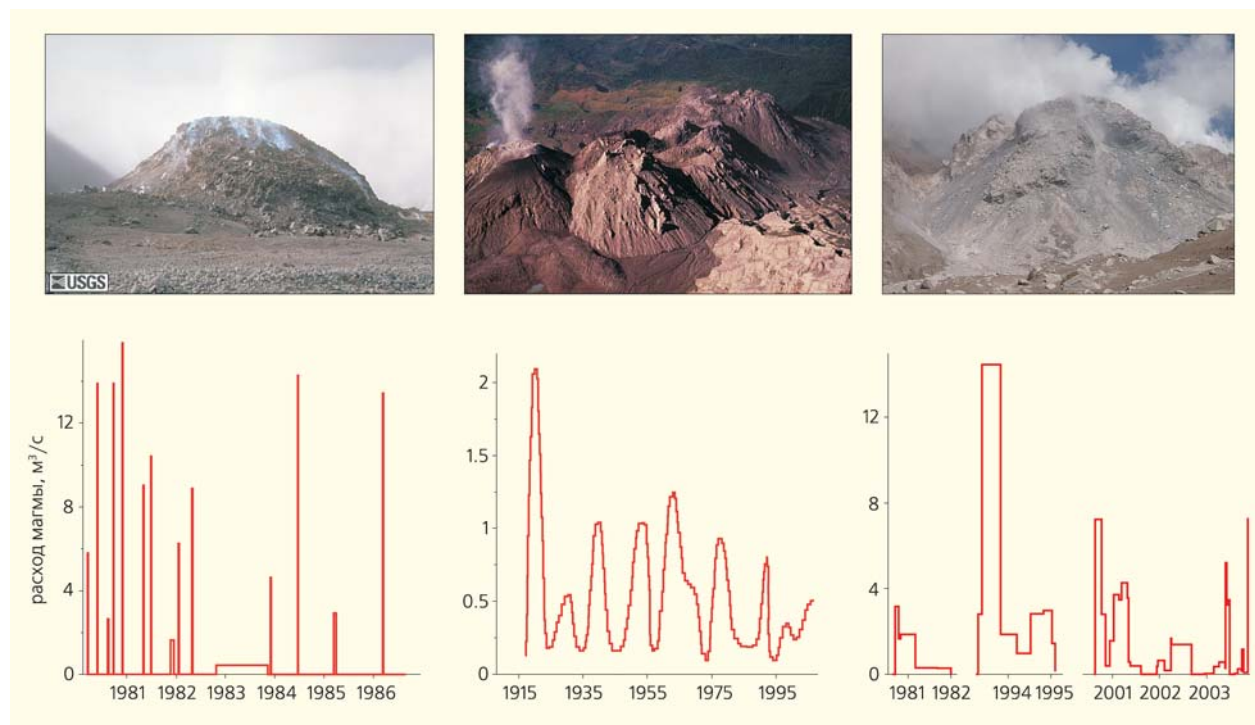


Рис.2. Зависимость расхода магмы от времени на вулканах Маунт Сент Хеленс, Сантьягито и Шивелуч. При извержении происходят резкие изменения расхода магмы за сравнительно короткое время. На первых двух вулканах изменения носят периодический характер.

наибольшему в тех случаях, когда концентрация кристаллов приближается к состоянию плотной упаковки.

Для качественного описания динамики извержения рассмотрим систему, состоящую из очага и цилиндрического канала постоянного сечения с неупругими стенками. Очаг находится в упругих породах и подпитывается свежей магмой с постоянным расходом Q_{in} . При подъеме давление в магме падает за счет действия сил тяжести и сопротивления канала вулкана. Сила сопротивления прямо пропорциональна вязкости магмы μ и скорости ее подъема V и обратно пропорциональна квадрату диаметра канала D . Такая зависимость верна для медленных (ламинарных) течений и была теоретически выведена Ж.Пуазейлем в 1846 г. Будем считать, что вязкость μ ступенчато возрастает при достижении объемной долей кристаллов β критического значения β_* . Предположим, что магма имеет постоянную плотность ρ (пренебрежем наличием пузырьков и различием в плотностях расплава и кристаллов), и все кристаллы зарождаются в очаге и растут с постоянной линейной скоростью U . Течение описывается системой уравнений

$$\frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial nV}{\partial x} = 0, \quad (1a)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho g - \frac{32\mu V}{D^2}, \quad \mu = \begin{cases} \mu_1, \beta < \beta_* \\ \mu_2, \beta \geq \beta_* \end{cases} \quad (1б)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} + V \frac{\partial \beta}{\partial x} = 4\pi n R^2 U = (36\pi n)^{1/3} \beta^{2/3} U. \quad (1в)$$

Здесь R — радиус кристалла, считающегося сферическим, n — число кристаллов в единице объема. Система состоит из уравнений сохранения массы и числа кристаллов в объеме магмы (1а), уравнения движения магмы (1б) и уравнения роста кристаллов (1в).

Поскольку система (1) описывает течение только в канале, необходимо задать граничные условия на верхней и нижней кромках канала. Считаем, что давление на верхней границе ($x = L$) равно нулю (поскольку давление в очаге многократно превосходит атмосферное). Очаг ($x = 0$), как мы говорили, находится в упругих породах и подпитывается свежей магмой с расходом Q_{in} , а объемная доля кристаллов в нем постоянна ($\beta = \beta_{ch}$). Связь между давлением в очаге и разностью интенсивностей подтока и оттока магмы описывается уравнением

$$\frac{\partial p_{ch}}{\partial t} = -\frac{\gamma}{V_{ch}} (Q_{in} - Q_{out}). \quad (2)$$

Здесь $Q_{out} = \pi D^2 V / 4$ — расход магмы, вытекающей из очага, γ — модуль упругости горных пород, окружающих очаг, V_{ch} — объем очага. Приведенное

выражение соответствует очагу сферической формы в упругих породах, заполненному несжимаемой жидкостью. Когда расход вытекающей магмы, определяющийся сопротивлением канала вулкана, больше расхода магмы, подтекающей в очаг, то давление в очаге падает. В противном случае давление растет.

В стационарном случае уравнения (1) могут быть легко проинтегрированы и с учетом граничных условий дают связь между давлением в очаге и скоростью подъема магмы (рис.3). При больших расходах критическая концентрация кристаллов на выходе из канала не достигается. Вязкость магмы постоянна и равна μ_1 , связь между давлением в очаге и расходом линейна и описывается классическим решением Пуазейля. Если же расход мал и концентрация кристаллов может достигать критического значения, то связь между давлением и расходом двузначная и описывается квадратичной по расходу зависимостью. В нижнем и промежуточном режиме верхняя часть канала заполнена сильновязкой жидкостью, причем длина этой области тем больше, чем меньше расход. Точка перехода от двузначного решения к пуазейлевскому определяется достижением критической концентрации кристаллов на выходе из канала. Таким образом, при фиксированном давлении в очаге возможно до трех стационарных режимов течения магмы. Расходы в них отличаются на порядки и перекрывают весь диапазон возможных расходов при экстремальных извержениях.

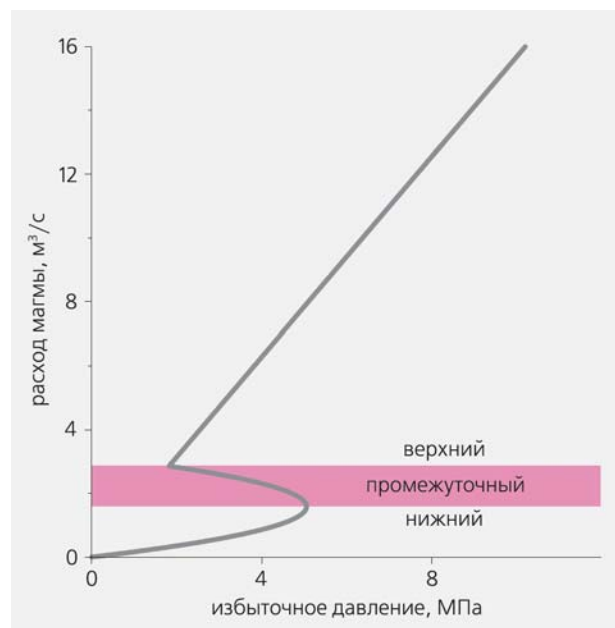


Рис.3. Стационарная зависимость между расходом магмы и избыточным (над гидростатическим) давлением в очаге. При фиксированном давлении в очаге возможно до трех стационарных режимов извержения.

Заметим, что подобные трехзначные решения обычны для теории катастроф и часто возникают в химической кинетике и электродинамике. Применительно к вулканическим системам подобные решения встречаются во многих работах [3, 11–14]. В них верхний и промежуточный режимы относятся к взрывному извержению, нижний — к экструзивному. При соответствующих граничных условиях промежуточный режим неустойчив, что приводит к циклическому изменению расхода магмы за счет переходов системы с нижнего режима на верхний и обратно.

На рис.4 приведена зависимость расхода магмы от давления в очаге и от времени, когда расход подтекающей в очаг магмы Q_{in} соответствует промежуточному стационарному режиму. Как мы видим, при достаточно большом объеме очага, а вернее при большом значении безразмерного параметра

$$\tau = \frac{4V_{ch}\rho g}{\pi D^2\gamma},$$

характеризующего время изменения давления в очаге, лавовый купол растет в периодическом режиме. Извержение начинается при подтоке свежей магмы в очаг (точка O). Давление в нем (в соответствии с уравнением (2)) начинает расти, поскольку $Q_{in} > Q_{out}$. Система идет близко к нижнему режиму стационарной кривой (тем ближе, чем

больше величина τ) до точки A, затем резко переходит на верхний режим (точка B). Теперь Q_{in} меньше, чем Q_{out} , и давление в очаге падает, вызывая снижение расхода (участок BC). Далее система за короткое время переходит на нижний режим (CD). Цикл замыкается. Если же очаг достаточно мал (малое τ), то решение со временем стабилизируется и лавовый купол растет с постоянной скоростью.

Одна из наблюдаемых величин — период колебаний (если таковые происходят). При больших значениях τ мы получили аналитическую формулу, по которой можно по наблюдаемым данным оценить объем очага извержения. Измерение объема очага — крайне сложная процедура, требующая наличия большого количества сейсмологических станций, расположенных в непосредственной близости от вулкана. Знание же количества готовой к извержению магмы очень важно для прогноза вулканической опасности.

Ввиду своей простоты модель может показаться красивой игрушкой в руках теоретиков. Однако это не так. Рассмотрим два конкретных случая применения модели — для вулканов Маунт Сент Хеленс (1980–1987) и Сантьягито (1922–2005). В извержении вулкана Маунт Сент Хеленс выделяются три периода. Во время первого (1981–1982) произошло девять всплесков роста лавового купола с расходами ~ 15 м³/с. Каждый из всплесков продолжался от двух до семи дней (в среднем че-

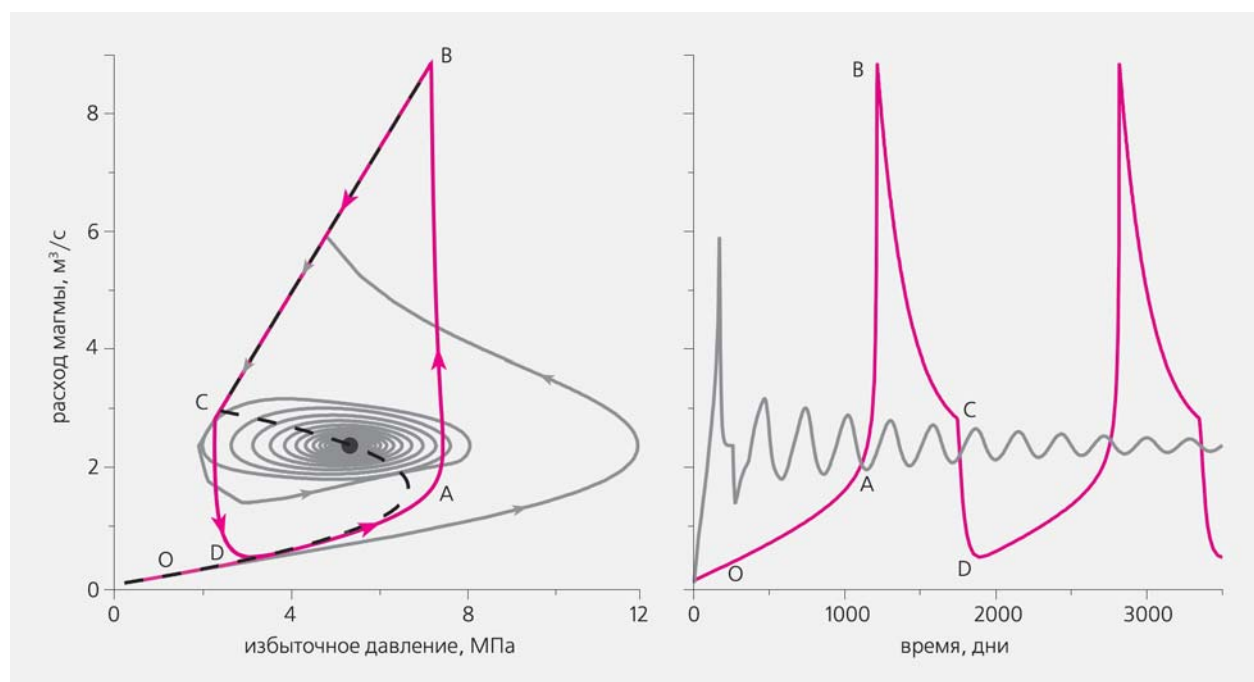


Рис.4. Зависимость между расходом магмы и избыточным (над гидростатическим) давлением в очаге (слева), и между расходом и временем. Кривые различаются характерным временем (τ) изменения давления в очаге. При больших τ ($\tau = 200$, серая кривая) расход изменяется периодически, при малых τ ($\tau = 8.3$, цветная кривая) — стабилизируется. Пунктиром показано стационарное решение.

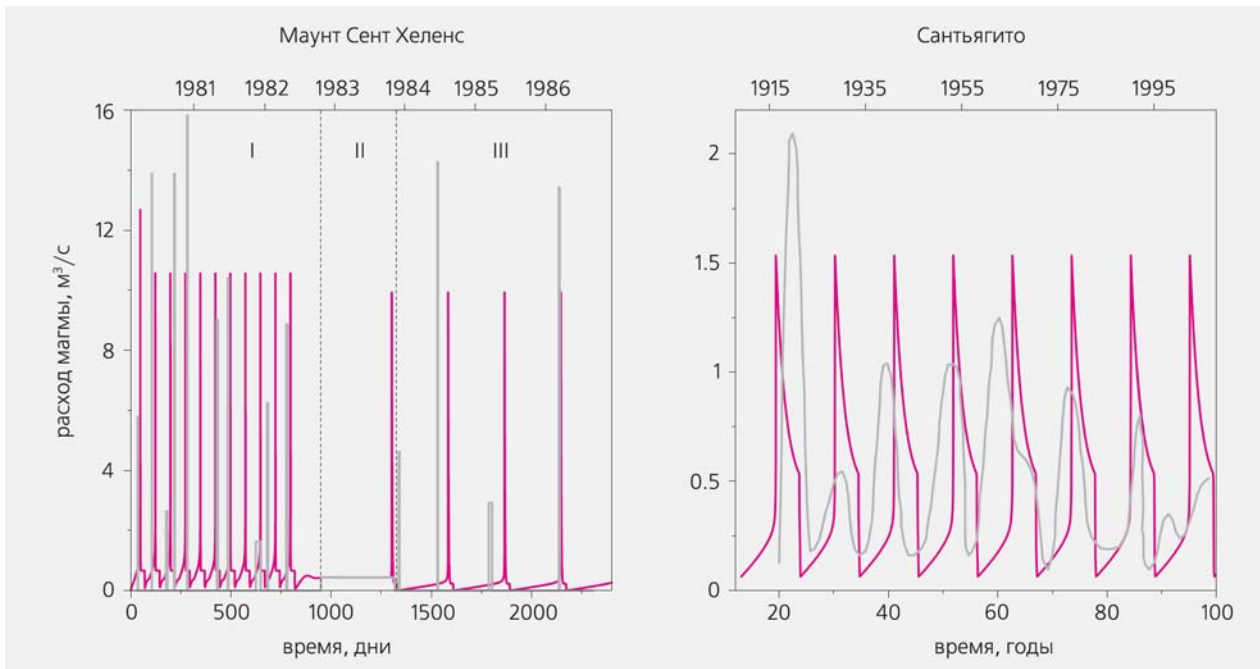


Рис.5. Сравнение рассчитанного изменения расхода магмы во времени с данными полевых наблюдений (цветная кривая) на вулканах Маунт Сент Хеленс и Сантьягито. Параметры вулканических систем приведены в таблице. Римскими цифрами обозначены периоды извержений.

тыре) с временем затишья около 74 дней и средним расходом за весь период $\sim 0.67 \text{ м}^3/\text{с}$. Второй период характеризуется ростом лавового купола с постоянным расходом $\sim 0.48 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение года. Во время третьего периода произошло пять всплесков роста купола с расходами $\sim 15 \text{ м}^3/\text{с}$ и средним расходом $\sim 0.23 \text{ м}^3/\text{с}$ [6].

На рис.5 приведены расчетная и наблюдавшаяся зависимости расхода от времени для данного извержения. Параметры, использованные при вычислениях, приведены в таблице. Мы предполагаем, что в первый период расход подтекающей в очаг магмы (Q_{in}) лежит в области среднего режима (см. рис.3). Происходят колебания. За счет большого контраста вязкостей резко изменяется расход магмы при переходе между верхним и нижним режимами. Во время второго периода приток магмы в очаг уменьшается и перемещается в область устойчивого нижнего режима. Извержение стабилизируется. Наконец, во время третьего периода параметры вулканической системы изменяются таким образом, что Q_{in} снова переходит на промежуточный режим. К таким переменам может привести либо уменьшение диаметра канала (с 18 до 12 м) за счет налипания магмы на стенки, либо уменьшение скорости роста кристаллов за счет вариаций химического состава магмы. Возможно, параллельно действуют оба фактора.

На вулкане Сантьягито, начиная с 1922 г., рост лавового купола происходил циклически [7]. Каж-

дый цикл начинался с 3–6-летнего периода высокой активности вулкана (расходы $0.5\text{--}2.1 \text{ м}^3/\text{с}$), затем сопровождался более длинным периодом (3–11 лет) низкой активности (с расходами порядка $0.2 \text{ м}^3/\text{с}$). Средний расход за время извержения составил $\sim 0.44 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица

Параметры вулканических систем для вулканов Маунт Сент Хеленс и Сантьягито

Параметр	Маунт Сент Хеленс	Сантьягито
Плотность магмы	2500 кг/м^3	2500 кг/м^3
Длина канала	7200 м	5000 м
Диаметр канала	18 (12*) м	20 м
Объем очага	0.56 км^3	64 км^3
Модуль упругости пород	$3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$	10^{10} Па
Число кристаллов в единице объема	$10^{14} \cdot 1/\text{м}^3$	$10^{14} \cdot 1/\text{м}^3$
Скорость роста кристаллов	$1.5 \cdot 10^{-12} \text{ м/с}$	10^{-12} м/с
Вязкость при малой доле кристаллов	$6.4 \cdot 10^5 \text{ Па с}$	$6.4 \cdot 10^6 \text{ Па с}$
Отношение вязкостей	80 (110*)	12
Концентрация кристаллов в очаге	0.3	0.3
Критическая концентрация кристаллов	0.7	0.7

* В скобках приведены параметры для третьего периода роста купола на вулкане Маунт Сент Хеленс.

На рис.5 показаны расчетная зависимость расхода от времени и данные полевых наблюдений (цветная линия). Расчеты позволяют объяснить периодическое изменение расхода, правильно воспроизводят период извержения и отношения между периодами повышенной и пониженной активности. Изменение максимума расхода и тенденции к стабилизации извержения могут быть следствием падения расхода подтекающей магмы, изменения физических ее свойств или эволюции канала. Имеющиеся данные, однако, пока не позволяют однозначно установить причины таких вариаций расхода магмы.

По нашим оценкам, под вулканом Сантьягито расположен магматический очаг огромного объема. Катастрофическое извержение 1902 г., при котором на поверхность было вынесено более 10 км³ лавы, не привело к существенному опустошению очага и образованию кальдеры при обрушении кровли, что косвенно подтверждает наши расчеты. Эксплозивное же извержение Маунт Сент Хеленс в 1980 г., после которого начал расти лавовый купол, было относительно небольшим (~0.2 км³), что соответствует малому размеру очага.

Реальность сложнее

Предложенная модель была существенно развита для учета реальной кинетики кристаллизации (нуклеации и роста кристаллов в зависимости от степени переохлаждения магмы) и наличия в магме растворенного газа, выделяющегося при подъеме и фильтрующегося через систему взаимосвязанных пузырьков [15]. Также учтено увеличение длины канала за счет наращивания лавового купола.

Система уравнений, описывающая такое течение, состоит из пяти уравнений, выражающих законы изменения массы (для магматического расплава, относительно крупных кристаллов, микролитов, пузырьков и растворенного газа), двух гидродинамических уравнений (для магмы и газа в пузырьках) и уравнения энергии, учитывающего изменение температуры при выделении скрытой теплоты кристаллизации. Вязкость магмы определяется количеством растворенного в ней газа, температурой и объемной концентрацией кристаллов. Для описания процесса кристаллизации с некоторыми уточнениями применялась модель [16], откалиброванная на экспериментах [17].

Платой за сложность стало отсутствие аналитических решений и простых оценок. Зато модель позволяет рассматривать влияние значительно большего числа определяющих параметров и процессов. Приведем несколько примеров ее применения.

На рис.6 показана зависимость расхода магмы от высоты лавового купола (и от времени)

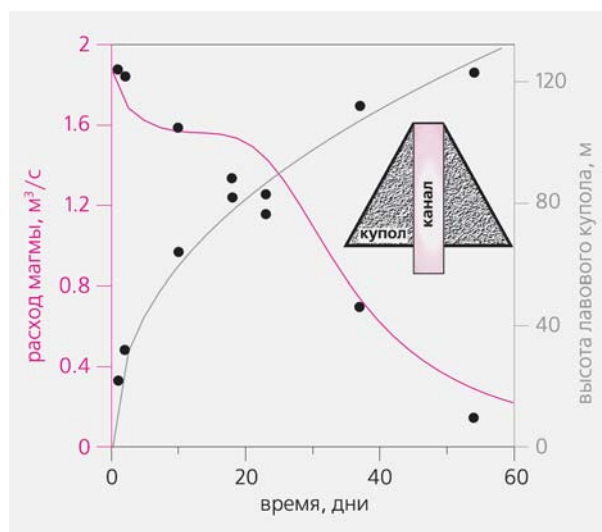


Рис.6. Зависимость расхода магмы (показано цветом) и высоты лавового купола от времени на вулкане Суффриер Хиллз. Точки — данные наблюдений, линии — расчетные значения. Купол аппроксимировался усеченным конусом с верхним основанием, равным диаметру канала, и наклоном боковой поверхности, соответствующим углу естественного откоса слагающих пород. Давление в очаге считалось постоянным.

для вулкана Суффриер Хиллз (1995—2001). Свежая магма поступает на поверхность лавового купола, увеличивая его высоту и тем самым длину канала. Расчет начинался с точки, когда высота купола равнялась нулю, а расход магмы ~2 м³/с. На заключительных стадиях расход уменьшался до ~0.1 м³/с, а высота купола достигла 120 м. Рост купола приводит к уменьшению расхода магмы, что вызывает более интенсивную ее кристаллизацию. Вязкость магмы увеличивается, и ее расход уменьшается еще сильнее. Если не учитывать кристаллизацию, то уменьшение расхода в 20 раз должно произойти при высоте купола 570 м, что противоречит наблюдениям.

Второй пример поясняет причину относительно низкой пористости материала лавовых куполов. Как уже говорилось выше, магма, содержащая 5—7 масс.% растворенного газа, при декомпрессии до атмосферного давления должна состоять практически из одних пузырьков. Однако пористость пород лавовых куполов составляет 10—30%. Причина кроется в слиянии пузырьков с образованием подвижной пористой среды и фильтрации газа через нее. Доказательством существования подобной структуры служат лабораторные измерения проницаемости для газовой среды вулканических пород [18]. На рис.7 приведены графики распределения избыточного (по сравнению с литостатическим) давления и объемной доли пу-

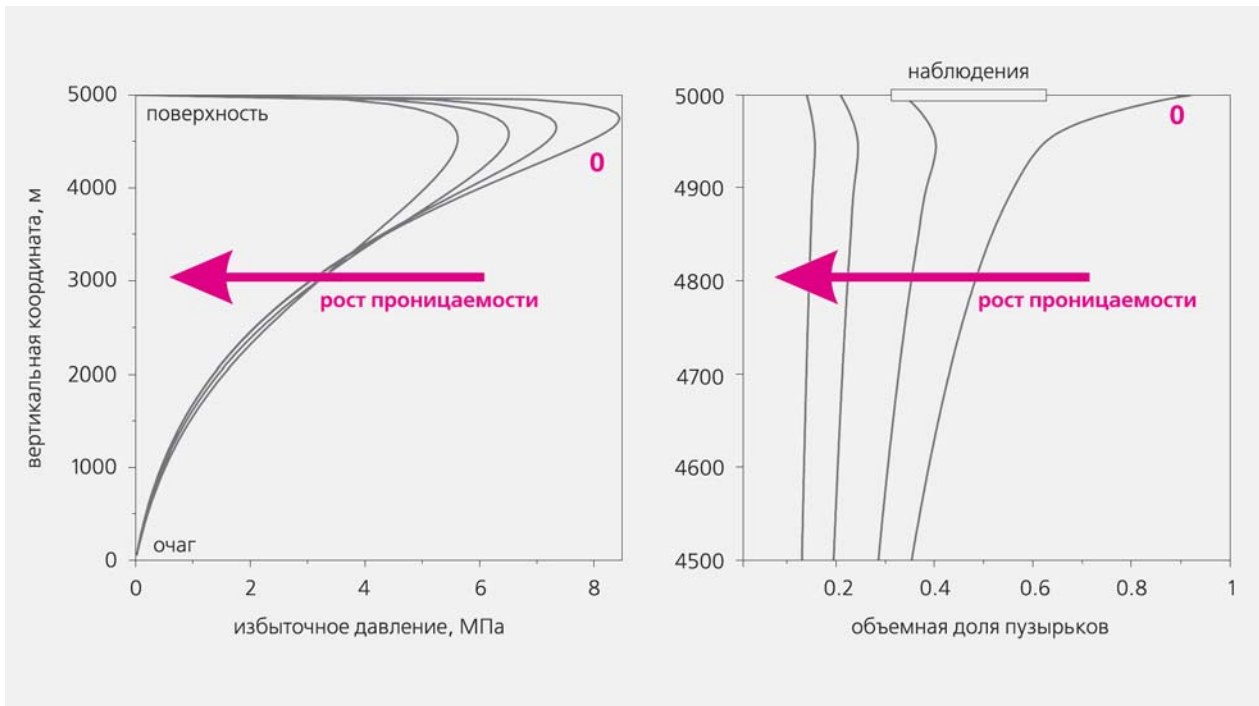


Рис.7. Распределение избыточного (над литостатическим) давления и объемной доли пузырьков в канале вулкана при различных проницаемостях магмы для газовой среды. Индекс «0» соответствует непроницаемой магме.

зырьков по каналу вулкана для магмы с различной проницаемостью. Давление в канале падает при подъеме магмы за счет действия сил тяжести и сопротивления канала вулкана (см. рис.1). За счет роста пузырьков вес магмы уменьшается и давление в нижней части канала падает медленнее литостатического. В верхней части канала за счет роста силы сопротивления (вязкость магмы увеличивается на порядки величины как за счет роста кристаллов, так и за счет выделения растворенных газов из расплава) давление на выходе резко падает до атмосферного. В результате в приповерхностной области давление в магме значительно превышает литостатическое. За счет большого градиента давления происходит интенсивная фильтрация газа сквозь магму (по закону Дарси, фильтрационная скорость пропорциональна градиенту давления). Это приводит к уменьшению объемной доли пузырьков на выходе из канала.

Наличие больших избыточных давлений в приповерхностной области может объяснить происходящие на многих растущих куполах мелкофокусные землетрясения и деформации земной поверхности. По независимым оценкам для вулкана Суфриер Хилз положение и амплитуда источника давления хорошо совпадают с рассчитанными значениями.

Пример третий. При большой объемной доле кристаллов магма перестает вести себя как обыч-

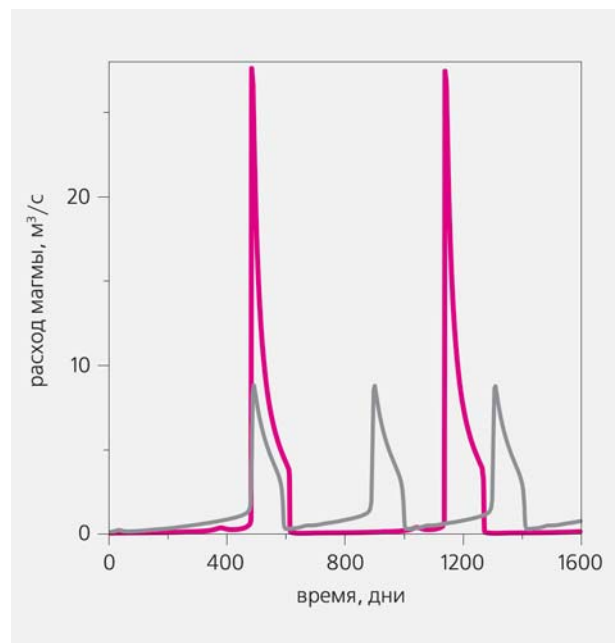


Рис.8. Зависимость расхода магмы от времени, когда она представляется обычной вязкой жидкостью (серая кривая) и жидкостью Бингама—Шведова (цветная кривая), обладающей пределом текучести. Во втором случае резкие всплески расхода чередуются с паузами.

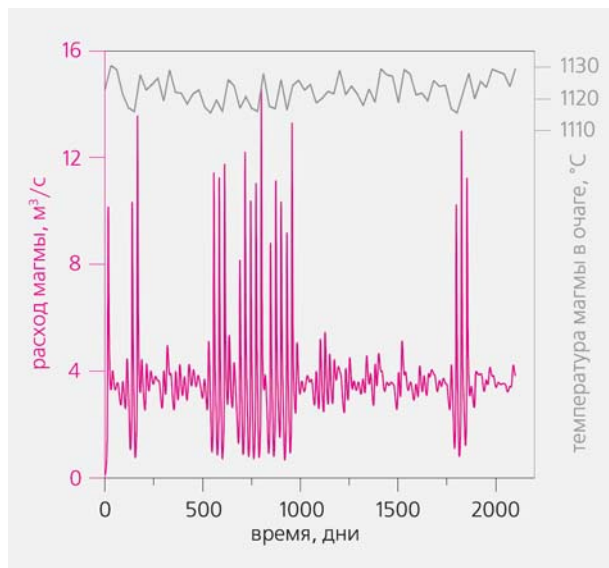


Рис.9. Зависимость расхода магмы (показано цветом) и температуры в очаге извержения от времени.

ная вязкая жидкость. Появляется предел текучести. Если перепад давлений, приложенный к магме, меньше некоторого критического, то движения не происходит. Подобным образом ведут себя многие суспензии. Такое поведение описывается моделью Бингама—Шведова. На рис.8 представлено сравнение динамики извержения для обычной вязкой жидкости и бингамовской, т.е. структурированной жидкости, обладающей пределом текучести. Считается, что предел текучести обращается в ноль, когда концентрация кристаллов меньше критической. При недостаточно больших давлениях в очаге в случае бингамовской модели извержения не происходит. С ростом давления магма начинает выжиматься из канала с увеличивающимся расходом, количество кристаллов в ней уменьшается, вязкость падает, а предел текучести становится равным нулю. Это приводит к резкому увеличению расхода, который может превышать значения, рассчитанные для обычной вязкой жидкости, в несколько раз. Между всплесками расхода магмы рост купола полностью прекращается. Подобное поведение наблюдалось, например, на вулкане Маунт Сент Хеленс.

Пример четвертый. За счет зависимости вязкости от концентрации кристаллов и сложной кинетики кристаллизации вулканическая система сильно нелинейна. При этом малое изменение параметров магмы в очаге извержения может привести к коренному изменению его режима. Особенно сильно малое изменение параметров сказывается в окрестности точек перехода (А и С на рис.4). Рассмотрим, как поведет себя вулкан, если температура магмы на выходе из очага будет случайным

образом меняться в пределах ± 15 °С от средней (изменение температуры составляет менее 2%), а интенсивность притока магмы в очаг будет соответствовать окрестности точки А. К такому изменению температуры может приводить всплывание более горячих порций магмы за счет ее конвекции в очаге. На рис. 9 изображена зависимость расхода магмы и температуры в очаге от времени. Когда температура магмы выше средней, подток соответствует нижнему устойчивому режиму и интенсивность извержения мало отличается от средней. При более низких температурах происходят интенсивные колебания расхода. В целом малое случайное изменение температуры в очаге приводит к значительному изменению интенсивности извержения. Похожий характер носит в последнее время извержение вулкана Шивелуч (рис.2).

Суха теория...

Для подтверждения наших теоретических моделей хотелось провести эксперимент в контролируемых условиях. По понятным причинам сделать его на извергающемся вулкане невозможно. Поэтому в Научно-исследовательском институте механики МГУ родилась установка «Вулкан», где в качестве магмы используется обычный сахарный сироп, вязкость которого экспоненциально зависит от температуры. В камеру с упругими стенками горячий сироп подается с постоянным

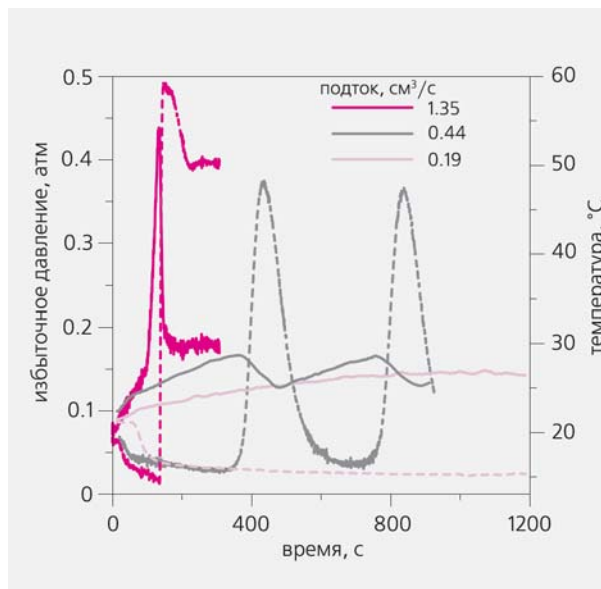


Рис.10. Обработка данных эксперимента на установке «Вулкан». Приведены значения избыточного давления (показаны пунктиром) в камере и температуры сиропа на выходе из канала при различных интенсивностях подтока сиропа в камеру.

расходом и течет по охлаждаемому каналу. Температура стенок канала постоянна. Если сироп течет быстро, то охладиться он не успевает и его вязкость увеличивается незначительно. При медленном течении вязкость сиропа возрастает в сотни и даже тысячи раз. Стационарная зависимость расхода от давления в очаге в этом случае также трехзначна. Теоретически, если расход подтекающего в очаг сиропа соответствует среднему режиму, то возникают периодические колебания. В противном случае (т.е. для более быстрого или более медленного подтока) истечение выйдет на стационарный режим. Проведенные эксперименты полностью подтвердили выводы теории (рис.10). Таким образом, можно с большей уверенностью говорить о достоверности полученных результатов.

Приложение математических моделей к описанию вулканических извержений находится на начальных стадиях по сравнению с классическими областями аэро- и гидромеханики или, например, метеорологии и сейсмологии. Еще многое предстоит сделать для того, чтобы с уверенностью дать ответ на главные вопросы вулканологии — когда и где произойдет извержение, какова будет его интенсивность и продолжительность, какие территории подвержены риску? Для многих стран, таких как Япония, Филиппины, Индонезия, Италия, проблема точного прогноза вулканической активности — одна из самых актуальных. Без понимания принципов действия вулканической системы этот вопрос останется без ответа даже при самых современных способах мониторинга активных вулканов. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 99-01-01042 и 02-01-00067), Европейского международного научного фонда (INTAS 01-0106) и фондов Британского Совета (NERC) и Королевского общества Великобритании.

Литература

1. Wilson L. // J. of Volcanology and Geothermal Research. 1980. V.8. P.297—313.
2. Слезин Ю.Б. // Вулканология и сейсмология. 1983. №5. С.9—17.
3. Слезин Ю.Б. // Вулканология и сейсмология. 1984. №1. С.23—35.
4. J.of Volcanology and Geothermal Research. Special volume. / Ed. D.Sahagian. 2005. V.143. P.1—245.
5. Druitt T.H., Kokelaar B.P. The eruption of Soufrière Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999. L., 2002.
6. Swanson D.A., Holcomb R.T. Regularities in growth of the Mount St. Helens dacite dome in 1980—1986 // Lava Flows and Domes; Emplacement Mechanisms and Hazard Implications / Ed. J.H.Fink. Berlin, 1990. P.3—24.
7. Harris A.J.L., Rose W.I., Flynn L.P. // Bulletin of Volcanology. 2003. V.65. P.77—89.
8. Федотов С.А., Жаринов Н.А., Двигало В.Н. и др. // Вулканология и сейсмология. 2004. №6. С.3—14.
9. Barmin A., Melnik O., Sparks R.S.J. // Earth and Planetary Science Letters. 2002. V.199. P.173—184.
10. Nakada S., Motomura Y. // J. of Volcanology and Geothermal Research. 1999. V.89. P.173—196.
11. Woods A.W., Koyaguchi T. // Nature. 1994. V.370. P.641—645.
12. Бармин А.А., Мельник О.Э. // Известия РАН, серия МЖГ. 1993. №2. С.49—60.
13. Бармин А.А., Мельник О.Э. // Там же. 1990. №5. С.35—43.
14. Слезин Ю.Б. Механизм вулканических извержений // Природа. 1998. №6. С.80—89.
15. Hort M. // J. of Petrology. 1998. V.39. P.1063—1076.
16. Couch S., Harford C.L., Sparks R.S.J., Carroll M.R. // J. of Petrology. 2003. V.44.P. 1455—1475.
17. Melnik O., Sparks R.S.J. // J. of Geophysical Research. 2005. V.110. doi:10.1029/2004JB003183.
18. Mueller S., Melnik O., Spieler O. et al. // Bulletin of Volcanology. 2005. V.67. P.526—538.

Канары глазами геолога

С.В.Белов,

доктор геолого-минералогических наук
 Геофизический центр РАН
 Москва

Канарские о-ва расположены в Атлантическом океане к юго-западу от побережья Марокко. Архипелаг состоит из семи крупных и ряда мелких островов. Восточная группа — острова Фуэртевентура и Лансароте — отстоит от побережья Африки на 100 км, западная — Иерро и Пальма — более чем на 500 км. Между ними располагается самый знаменитый и наиболее посещаемый туристами о.Тенерифе, а также острова Гомера и Гран-Канария.

Канары называют островами вечной весны. Они словно созданы для круглогодичного отдыха. Невиданные красоты природы и отличный сервис позволяют каждому, кто оказался здесь, на время забыть о своих проблемах. Однако не будем повторять то, что написано в справочниках и путеводителях для туристов. Остановимся на тех достопримечательностях Канар, которые неизвестны широкой публике. Речь идет об особенностях, которые делают их необычайно интересными с геологической точки зрения. Перед пытливым взором исследователя предстают и следы недавних вулканических извержений, и тектонические расколы земной коры, и геологическая деятельность моря. Но главное,

появляется возможность приоткрыть тайну формирования удивительных геологических образований — карбонатитов, с которыми на всех континентах Земли ассоциируют крупные месторождения ниобия и тантала, редких земель и фосфора, железа и слюды, а также многих других полезных ископаемых, без которых ныне немыслимо развитие цивилизации. Очевидно, поэтому Канары служат местом проведения многих международных геологических симпозиумов. Именно здесь ученым представляется возможность заглянуть в геологическую кухню Природы, оценить реальность своих построений и гипотез, понять закономерности, которые обычно скрыты завесой времени в десятки и сотни миллионов лет.

Карбонатиты

Прежде чем повести рассказ о канарских карбонатитах, надо хотя бы кратко пояснить, что же это за геологические породы, как они образуются и почему с ними ассоциируют такое большое количество различных полезных ископаемых, что несвойственно более ни одной эндогенной геологической формации?

Специалисты понимают под карбонатитами эндогенные, су-

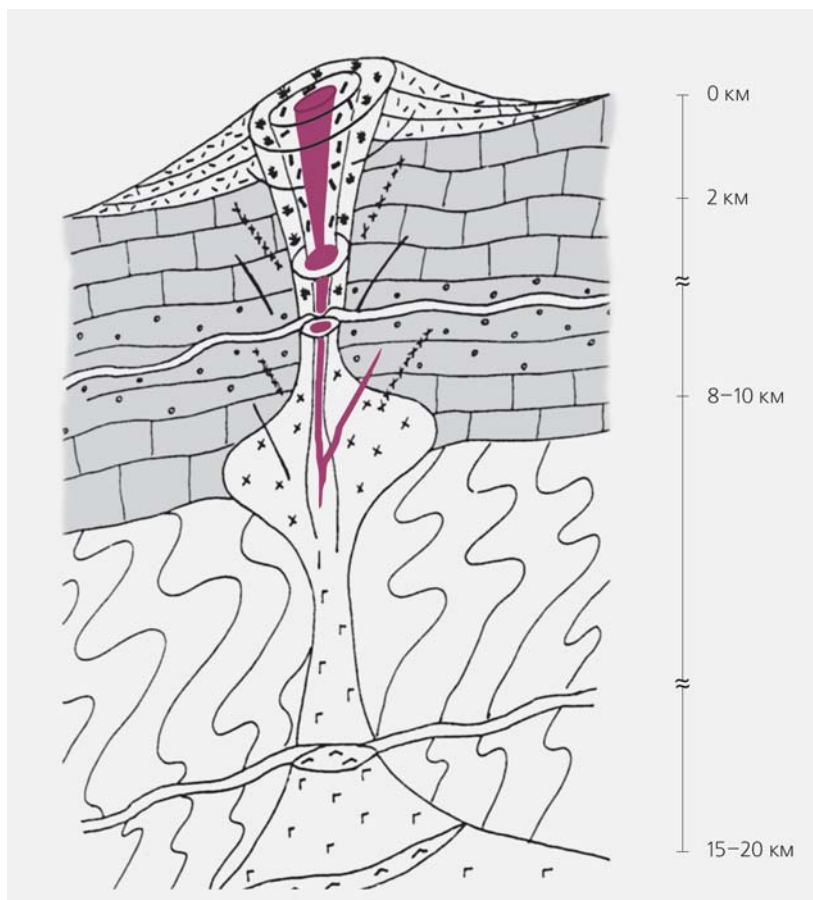
щественно карбонатные породы с подчиненным количеством силикатов и рудных, преимущественно редкометалльных минералов, а также магнетита — Fe_3O_4 , различных сульфидов, апатита — $Ca_5[PO_4](OH,F,Cl)$ и флюорита — CaF_2 [1]. Они пространственно и генетически связаны с вулканоплутоническими комплексами ультраосновных щелочных пород и обычно формируют с ними в верхней части земной коры массивы центрального типа [2]. На земном шаре геологами выявлено около 300 массивов щелочно-ультраосновных карбонатитовых комплексов, образующих на всех континентах около 30 провинций. Число разведанных карбонатитовых объектов измеряется несколькими десятками. Из них два десятка разрабатывается с получением пироклоровых — $NaCaNb_2O_6F$, апатитовых, монацитовых — $(Ce, La)[PO_4]$, рутил-анатазовых — TiO_2 , магнетитовых, флюоритовых, бадделеитовых — ZrO_2 , флогопитовых, борнит-халькопиритовых — $Cu_3FeS_4-CuFeS_2$ концентратов, ежегодная стоимость которых оценивается в десятки миллионов долларов. Более 80 карбонатитовых массивов находится в России. Среди них такие уникальные по запасам и качеству руд месторождения, как Томтор, Белая Зима и др. Такова



Канарские о-ва с расположенными на них основными вулканами.

визитная карточка этого семейства горных пород, обнаруженных и на Канарских о-вах.

В геологическом отношении Канары находятся в своеобразной зоне перехода континентальной литосферы Западной Африки в океаническую литосферу Атлантики. Здесь уже с конца мезозоя (приблизительно 70 млн лет назад) происходили многократные блоковые тектонические подвижки, сопровождавшиеся бурным вулканизмом. Тогда в мезозое на месте островов существовала система линейно вытянутых рвов-трогов, в которых образовалась толща вулканитов так называемой трапповой формации, составляющей сейчас основание восточных островов. В середине миоцена (примерно 12 млн лет назад) произошли сильные подвижки, дробление литосферы, поднятие островных глыб и вспышка вулканизма. В плиоцене (2—3 млн лет назад) эти процес-



- | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Породы платформенного чехла: | | Щелочные породы: | |
| | карбонатные | | сиениты |
| | терригенные | | фонолиты |
| | Кристаллический фундамент | | Фоидолиты среднего яруса |
| | Вулканогенные образования конуса | | Ультрамафиты нижнего яруса |
| | Карбонаты | | Дайки щелочных пород и карбонатов |

Схематичная модель карбонатитового массива.

сы повторились, и тогда западные Канарские о-ва отошли от Африки. И совсем недавно, в плейстоцене (примерно 100 тыс. лет назад), произошло отделение и восточных Канар. Восточные острова древнее западных. Имеются различия и в химическом составе пород. На востоке доминирующую роль в вулканических извержениях играла толеитовая магма, а на западе — щелочная. Все это обусловило своеобразие геоморфологии и рельефа Канар, которое сразу бросается в глаза не только геологу, но даже обыкновенному туристу. Они отличаются максимальными для атлантических островов высотами и наличием крупных вулканов, сходных с вулканами континентальных областей.

Карбонатиты обнаружены на о.Фуэртевентура в конце шестидесятых годов прошлого века. Они ассоциируют с широким комплексом щелочных интрузивных и вулканических пород, абсолютный возраст которых составляет 20—22 млн лет. Объем карбонатитов здесь относительно невелик. Они формируют интрузивные тела мощностью до 3 м и небольшие дайки толщиной несколько сантиметров, которые секут все литологические разности щелочных пород. Типично магматические текстуры порой изменены более поздними процессами. И хотя в карбонатитах Канар промышленных скоплений полезных ископаемых не установлено, их изучение проливает свет на общие закономерности формирования в земной коре этих интереснейших геологических образований. Неужели карбонатиты могут быть продуктом геологических процессов в океанической коре или все же они типичны лишь для коры континентальной? Данные континентальной геологии свидетельствуют, что карбонатиты главным образом размещаются в пределах рифтовых зон континентов. Анализ тектонической позиции аналогичных комплексов пород на Канарах пока-

зал, что о.Фуэртевентура (где как раз и найдены карбонатиты) вместе с расположенным севернее о.Лансароте отделен от западного побережья Африки глубоким троговым прогибом, или грабеном, вытянутым в север-северо-восточном направлении. В нем скопилась огромная (мощностью около 10 км) толща осадочных пород. Прогиб представлял собой долгоживущую систему и, начиная с фанерозоя (570 млн лет назад), неоднократно испытывал реактивацию рифтогенного типа. Но самое интересное то, что по данным проводившихся геофизических исследований, о.Фуэртевентура имеет кору континентального (!) типа (в то время как на западе архипелага кора уже океаническая). В его пределах поверхность Мохоровичича залегает на глубине около 25 км. Фуэртевентура образует выступ в виде горста на периферии основного грабена. Таким образом, карбонатитовые массивы на о.Фуэртевентура располагаются приблизительно в 30—40 км от осевой части грабенообразной рифтогенной зоны периконтинентального типа (т.е. заложенной вдоль окраины африканского континента). Следовательно, карбонатиты Канарских о-ов приурочены, так же как и большинство подобных пород, к рифтогенному прогибу, заложенному на коре континентального типа и активизированному по системе разлома [2]. Данное заключение весьма важно для практической геологии, оно свидетельствует, что искать месторождения, связанные с карбонатитами, следует лишь там, где земная кора обладает признаками континентального строения. Ожидать их встретить в пределах океанской литосферы нет никаких оснований. Повидимому, обусловлено это тем, что только в мощной континентальной коре создаются благоприятные условия для зарождения и длительной дифференциации массивов ультраосновных щелочных пород и карбонатитов [3].

Другие канарские уникамы

Ныне для большинства российских специалистов-геологов, студентов, изучающих науки о Земле, да и просто туристов, интересующихся таким природным феноменом, как вулканизм, проще и дешевле познакомиться с вулканами Канарских о-вов, чем совершить вояж в Курило-Камчатскую вулканическую область. Наиболее интересны в данном отношении центральные Канары, образованные двумя региональными глыбами: Гран-Канария и Тенерифе—Гомера. На о.Тенерифе расположен самый высокий вулкан Испании — Пико-де-Тейде (3718 м). Вдоль оси острова протягивается рифт, в котором начиная с миоцена (примерно 20 млн лет назад) образовывались вулканы. В результате накопилась мощная (в несколько километров) толща вулканогенных пород, слагающая хребет Кумбре-Педро-Хил (1840 м), склоны которого осложнены крупной вулканической кальдерой Ла-Каньядас, эрозионно-тектонической депрессией Тейде-Оротава, депрессией Гуимар. В кальдере Ла-Каньядас теснят друг друга слившиеся конусы вулканов Пико-де-Тейде и Пико-Вьехо (3103 м). Депрессия Гуимар, внутри которой находятся открытые в 60-х годах прошлого века Туром Хеердалом знаменитые пирамиды, ограничена от хребта высокими (до 600 м) сбросовыми обрывами. Нижнюю часть острова образуют миоценовые базальты. На них, собственно, и залегает комплекс стратовулкана Ла-Каньядас. Выше располагается толща игнимбритов и кислых лав, образовавших огромную провальную кальдеру Ла-Каньядас, производящую поистине незабываемое впечатление. Недаром именно здесь снимались фантастические сюжеты фильмов о звездных войнах. Именно здесь находятся и причудливые скалы Рокес-де-Гарсиа, изображение которых помещено на ис-



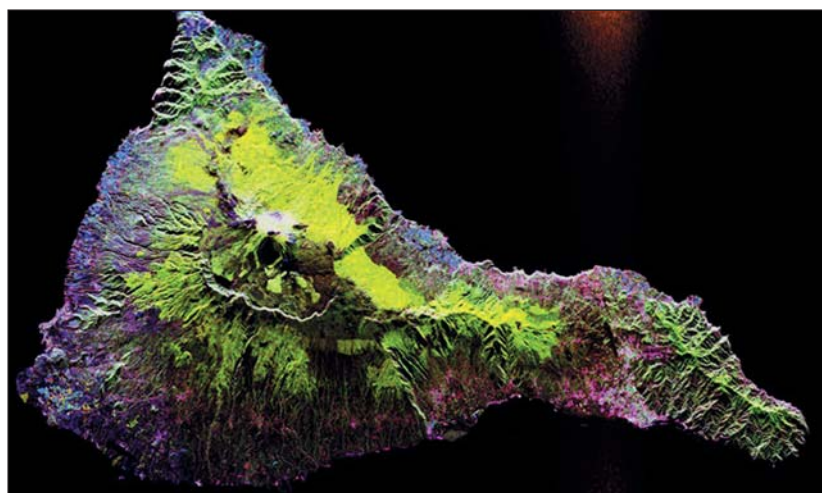
Вулкан Пико-де-Тейде поднимается намного выше облаков.

Здесь и далее фото автора

панских песетах. Выше по разрезу залегает трахитово-трахибазальтовая серия продуктов древнего вулкана Пико-де-Тейде. Еще выше находятся оливковые базальты, образующие вершинное плато Вилафлор. Следующие по возрасту — лавы молодых вулканов Пико-Вьехо и Пико-де-Тейде. Наиболее поздние породы — лавы и пирокласты вулканических извержений исторического времени. Конусы Пико-де-Тейде и Пико-Вьехо образуют двойной стратовулкан. Из расположенных на их вершине небольших кратеров по склонам «разливаются» потоки фанолитовых обсидианов. Здесь отчетливо чувствуется запах газа. На склонах обоих вулканов видны многочисленные паразитические конусы. Наиболее крупные из них: Монтанья Бланка (2649 м), Монтанья Ла-Круз (1518 м), Монтанья Негра (1417 м). Другой комплекс вулканических конусов можно наблюдать на плато Ла-Лагуна

(558 м), расположенном на сочленении п-ова Анага с центральной частью о.Тенерифе. Здесь на разломы, словно кольца, насажены небольшие кратеры и конусы, образующие вулканическое поле из 18 относительно крупных и многих мелких конусов.

Со времени колонизации архипелага испанцами хронология вулканических процессов наиболее полно зафиксирована для островов Лансароте, Пальма и Тенерифе. За последние пять веков извержения были и на других крупных островах, но точ-

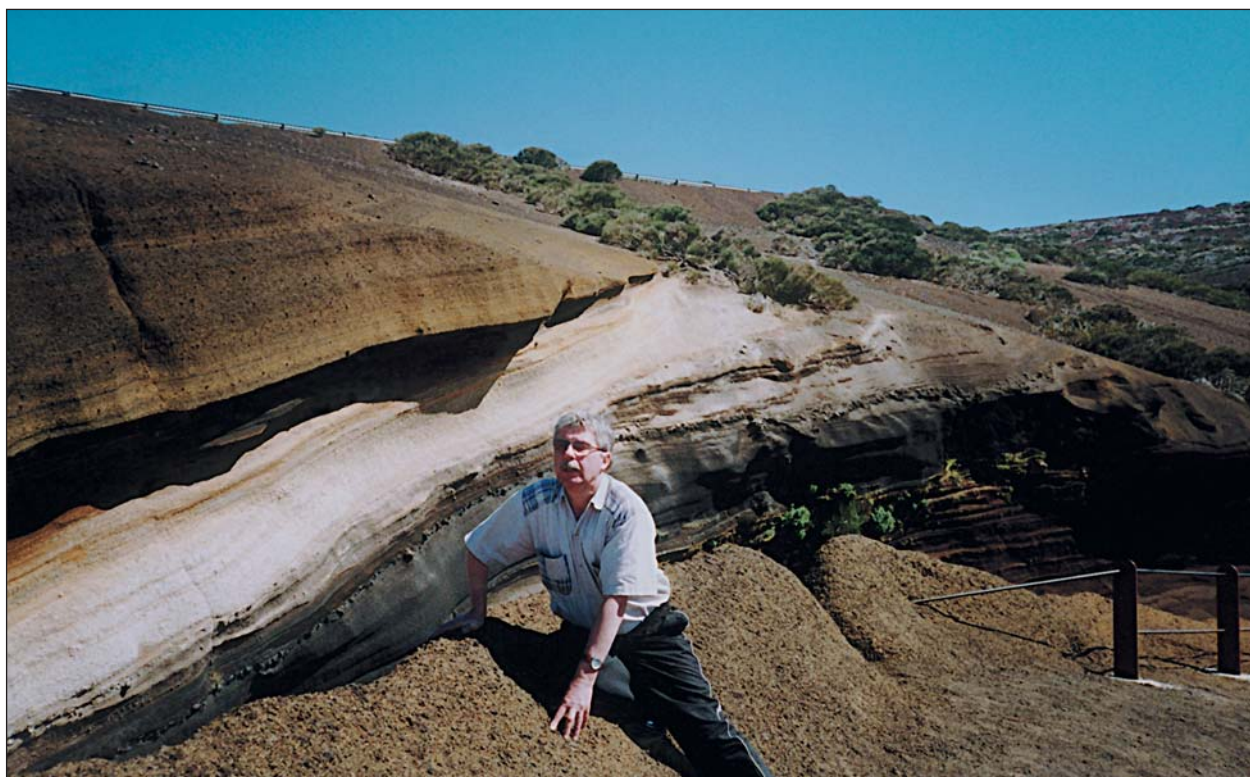


Так о.Тенерифе выглядит из космоса. Хорошо видны вулкан Пико-де-Тейде и кальдера Ла-Каньядас.

Заметки и наблюдения



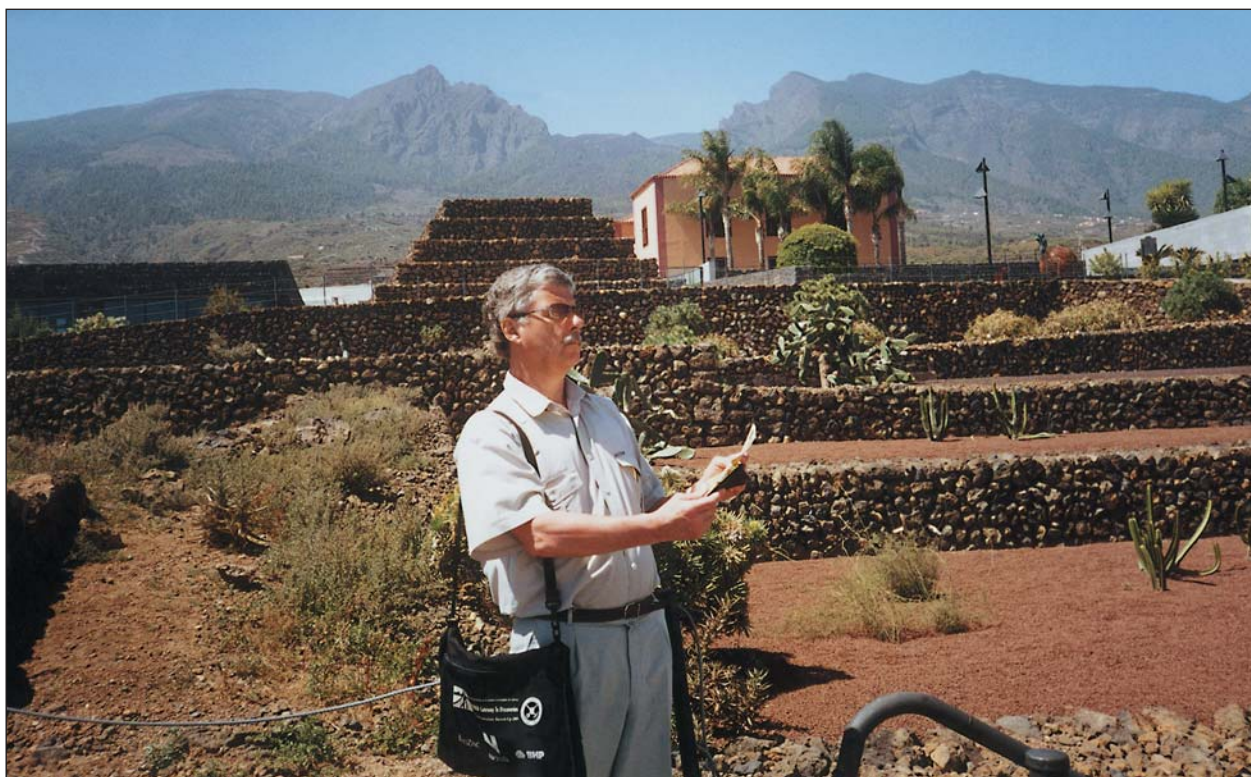
Потоки лав вулкана Пико-де-Тейде.



Обнажение пирокластических пород на склоне вулканической постройки.



Скалы Рокес-де-Гарсия.



Пирамиды, открытые Туром Хеердалом в кальдере Гуимар.



Кальдера Ла-Каньядас.

ных данных не сохранилось. На Тенерифе за этот период наблюдалось пять активизаций вулканической деятельности. Еще недавно были живы те, кто помнил сильнейшее извержение Пико-де-Тейде в ноябре 1909 г., когда дрожала земля и скалы на ползали друг на друга даже на Гран-Канария. Надо сказать, что во многих местах острова поставлены специальные щиты, на которых показано геологическое строение наиболее интересных вулканических построек. Разветвленная сеть отличных дорог, фуникулер на Пико-де-Тейде позволяют получить прекрасное представление об особенностях вулканизма острова.

Несколько часов на морском пароме от Тенерифе, и мы попадаем на легендарный остров Гомера, где жил Христофор Колумб между путешествиями. Это вулканический щит округлой формы площадью 378 км². Уже подплывая к столице острова г. Сан-Себастьян, видим мощный вулканический покров, лежащий на цоколе из меловых интрузивных пород. Вулканический базальтовый чехол смят в пологие складки, разбит разломами и пронизан многочисленными дайками нефелиновых трахиандезитов и куполами фанолитов. Гомера образует плосковершинный свод, сложенный двумя котлообразными эрозионно-тектоническими депрессиями: Гермосо и Сан-Себастьян. На вершине находится вулканический конус Гараханой (1487 м), а на склонах располагаются более мелкие вулканические постройки.

Следующий остров — Гран-Канария. Особенности его геологического строения в значительной мере определяются линейными и полукольцевыми разломами. Главный линейный разлом сбросового типа словно

ножом сечет остров по диаметру, обнажая в его юго-западной части древние породы (так называемая палео-канария). Второй линейный разлом протягивается на северо-восток, к п-ову Ислета. Третий — вдоль восточного берега. В западной части находится большой полукольцевой разлом, ограничивающий олигоценовую вулканическую кальдеру Сан-Николае. Эта полукруглая депрессия диаметром 20 км прорезана глубоким каньоном р.Ла-Альдеа-де-Сан-Николае. Остров состоит из сиенитового ядра и мощной (6 км) вулканической толщи, сложенной палеогеновыми, миоценовыми, плиоценовыми, плейстоценовыми и голоценовыми породами. Мощные (500 м) плато-базальты слагают древний щит острова, обрамляя кальдеру Сан-Николае, в которой располагается вулканический конус. В миоцене здесь произошли сильные взрывы. В позднем миоцене (примерно 7 млн лет назад) наблюдалось ослабление вулканизма и кратковременная морская трансгрессия. В плиоцене произошли извержения оливиновых плато-базальтов и сформировался лавовый щит. Возникли купола в центре острова: Лос-Ма-Нантиалес (1750 м), Посо-де-лас-Ньевес (1950 м), Морро-де-ла-Кальдера (1600 м). На главный разлом также насажены небольшие молодые кальдеры диаметром от 500 до 1500 м. Наибольшие молодые кратеры встречаются и в грабене, протягивающемся вдоль восточного берега, и на северо-западном берегу, и на п-ове Ислета. Мощные эрозионные процессы при новейших поднятиях обусловили вынос рыхлого материала реками, образование больших депрессий — Тейда (958 м) и Тираяна (843 м). На о.Гран-Канария встречаются пантеллеритовые

и пантеллерит-игнимбритовые лавы, которых нет на других островах архипелага.

Западные Канарские о-ва посещаются туристами значительно реже. Они образованы двумя обособленными глыбами, расположенными близ края океанической Канарской впадины. Первая, о.Иерро, — разрушенный массив, представляющий собой юго-восточную половину кальдеры диаметром 15 км и глубиной 900 м. Она ограничена полукольцевым разломом, по которому остров крутыми высокими (до 1000 м) стенками обрывается в океан. На кальдерном валу на 1501 м возвышается г.Мальпасо. Основание острова сложено меловыми осадочными породами. Большую часть второго острова западной группы — о.Пальма — занимает большая кальдера Де-Табуриенте. По-видимому, это вулкано-тектоническая котловина диаметром 7 км, отпрепарированная процессами денудации. Она обрамлена тектоническими обрывами высотой до 1800 м и окружена вершинами, образующими разомкнутое на юго-западе кольцо. Ее днище соответствует поверхности древнего магматического купола, составляющего основание острова и сложенного диабазами и габбро.

В общем, на Канарах есть что посмотреть и специалисту-геологу, и студенту, готовящемуся изучать земные недра, и просто любознательному туристу. Прекрасная обнаженность островов делает их уникальными геологическими памятниками природы и дает возможность не только насладиться этим удивительным уголком нашей планеты, но и наблюдать интереснейшие геологические процессы, обычно скрытые от человеческих глаз. ■

Литература

1. Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. Карбонатитовые месторождения России. М., 2003.
2. Белов С.В., Фролов А.А. Посланцы мантийных магм // Природа. 1998. №11. С.44—56.
3. Рябчиков И.Д., Расс И.Т. Расплавленные карбонаты в глубинах Земли // Природа. 1998. №8. С.67—74.

Татуировки на алтайских мумиях

Научные сообщения

Л.Л.Баркова,
старший научный сотрудник
С.В.Панкова,
научный сотрудник
Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург

Более 50 лет назад в Горном Алтае были раскопаны знаменитые Пазырыкские курганы, относящиеся к V—III вв. до н.э. [1. С.360]. Кто соорудил эти курганы? На этот вопрос, пожалуй, лучше всего может ответить археология, поскольку сведения письменных источников туманны. Правда, об этих далеких землях историк Геродот [2. С.194], почерпнувший свои знания от кочевников Северного Причерноморья — скифов, с которыми он встречался при посещении древней греческой колонии Ольвии (недалеко от современной Одессы). Кое-какие сведения мы можем получить от древних иранцев, которые в надписях и барельефах, прославляющих победы персидских царей, упоминают о своих северных соседях — саках. Саками персы называли разных кочевников, в том числе скифов. Если обратиться к китайским хроникам, то и там можно найти сообщения о северо-западных соседях Китая — загадочных голубоглазых динлинах, о каких-то юэчжах и о народе сэ. Из всего сказанного мы можем сделать вывод, что во времена Геродота огромные пространства евразийских степей были заселены племенами кочев-

ников — скифов, саков, сэ, которые, возможно, были ирано-язычными народами.

На этой обширной территории от тех времен сохранилось большое количество курганов. Одни из них — с высокими земляными насыпями, достигают в высоту двух десятков метров, другие — холмы-курганы, сложенные из камней. К их числу относятся и Пазырыкские курганы.

В особенностях их конструкции, а также в суровых климатических условиях Горного Алтая кроется секрет удивительной сохранности вещей, положенных некогда в могилы. Каменная насыпь плохо проводила тепло и служила конденсатором влаги из воздуха. Накапливающаяся в камнях вода просачивалась в могилу. Суровые зимы также сделали свое дело: под камнями образовалась вечная мерзлота, которая способствовала редкой сохранности предметов из дерева, войлока, кожи, меха, тканей и других недолговечных материалов, которые в обычных условиях в земле истлевают и исчезают бесследно. Устройство всех курганов, а их раскопано восемь, было одинаковым. Под насыпью кургана находился мощный настил из бревен.

В некоторых курганах число бревен доходило до трехсот. Настил перекрывал могильную

яму площадью до 60 м². Внутри помещались один или два поставленных друг в друга бревенчатых сруба (погребальные камеры). В погребальную камеру ставили гроб-колоду, выдолбленную из огромных стволов сибирской лиственницы. В саркофагах покоились останки вождя и его жены. Соплеменники позаботились о том, чтобы тела вождей оставались нетленными: захоронению предшествовала мумификация. Обычно череп усопшего трепанировали, извлекали мозг, удаляли внутренности и мышцы, затем пустоты заполняли травой, нарубленными стеблями растений, а разрезы сшивали конским волосом.

Большой интерес представляет мумифицированное тело мужчины-вождя из Второго Пазырыкского кургана. Оказалось, что обе его руки от плеч до кистей сплошь покрыты татуированными рисунками [1. С.137]. Помимо этого, татуировка нанесена частично на грудь, спину и ноги от щиколотки до колена. Основной мотив татуировки — изображения животных: реальных и фантастических, выполненных в особой художественной манере, в так называемом зверином стиле, характерном для древнеалтайского искусства. Эта замечательная находка на протяжении многих лет оставалась единственной.

В 1993 г. при раскопках могильника Ак-Алаха 3, что в кургане 1 на плато Укок (Республика Алтай), археолог из Новосибирска Н.В.Полосьмак обнаружила захоронение мумифицированного тела женщины [3, 4]. Руки ее были покрыты татуировкой. Сюжет, стиль и манера изображений аналогичны татуированным рисункам у мужчины из Второго Пазырыкского кургана.

В 1995 г. на этом же плато в могильнике Верх-Кальджин II В.И.Молодин извлек из мерзлоты мумифицированное тело молодого человека, у которого на плече имелся татуированный рисунок в виде фигуры копытного животного [5]. Манера изображения идентична двум предыдущим. Казалось, что находки древних татуировок иссякли. Однако совершенно неожиданно были открыты новые татуированные рисунки на мумифицированных телах мужчин и женщин, найденных еще в 1948—1949 гг. и хранящихся в Эрмитаже. Кожа у этих мумий темно-коричневого цвета, и никаких признаков рисунков на ней не видно даже при самом тщательном осмотре. За мумиями ведется постоянное наблюдение службы биологического контроля музея. Проводилось также рентгеновское исследование мумий, но никто ни разу не заметил на мумиях каких-либо татуировок. Выявление рисунков на телах мумий явилось счастливой случайностью.

Дело обстояло так: сотрудники музея, изучая мумии из могильника Оглахты в Хакасии (раскопки вел Л.Р.Кызласов в 1969 г.), сняли с мумии одежды и увидели на теле еле заметные рисунки. Представитель судебно-медицинской экспертизы, приглашенный на консультацию, посоветовал посмотреть мумии в инфракрасных лучах.

Фотографирование в инфракрасных лучах позволило обнаружить невидимые глазу рисунки. После такого результата возникло желание посмотреть

и пазырыкские мумии. В октябре 2004 г. были проведены съемки трех мумий из Второго и Пятого Пазырыкских курганов в отраженных инфракрасных лучах. Суть этих съемок заключается в том, что участки кожи, покрытые татуировкой, поглощают инфракрасные лучи, а чистая кожа интенсивно их отражает. Таким образом, темная кожа мумий на снимке выглядит совсем светлой, а татуировка на ней выделяется четко и контрастно.

Процесс съемок достаточно сложен, особенно учитывая то, что мумии находятся в одревесневшем состоянии и практически невозможно повернуть ни руку, ни ногу. Невозможно увидеть изображения, например, с внутренней стороны руки или ноги. В итоге фотографирования и просмотра мумий в инфракрасных лучах удалось увидеть изображения на теле женщины из Второго Пазырыкского кургана и на телах мужчины и женщины из Пятого кургана.

Тело женщины из Второго кургана сохранилось, хотя покровы кожи сильно нарушены, а имевшиеся татуировки частично утрачены. На левом плече изображено фантастическое существо с фигурой копытного и головой хищной птицы. Задняя половина его тела перевернута, и вся фигура образует круговую композицию. На плечевой части правой руки изображена фигура архара с круто изогнутым рогом и густой шерстью на груди.

Наиболее выразительны татуированные рисунки, расположенные на плечах, спине, руках и ногах мужчины из Пятого Пазырыкского кургана. Особенно впечатляет татуированный рисунок тигра на левом плече (рис.1). Крупная голова зверя, повернутая в профиль, занимает всю поверхность плеча. Контур головы обведен толстой жирной линией. Передние когтистые лапы спускаются вдоль руки человека, почти до самого локтя. Задняя часть тела зверя, лапы и хвост перекинуты на спину

мужчины до самого позвоночника. Если передняя часть животного покрыта зачерненными узорами, то задняя часть проработана контурной линией.

На плечевой части правой руки изображен мчащийся конь, быстрый бег которого показан характерным для древнеалтайского искусства приемом: передняя часть тела повернута по отношению к задней на 180°. Зачерненные криволинейные фигуры подчеркивают бедро и изогнутую шею лошади. Зачернены также ноги, грива и хвост с закрученным в кольцо концом.

Татуировки имеются на кистях обеих рук мужчины (рис.2). В основаниях больших пальцев симметрично расположены фигуры «шагающих» птиц, обращенных головой в сторону ногтя. Татуированные рисунки выполнены контурной линией. Мастер передает тела обтекаемой формы, небольшие лапки в «штанах»; в очертаниях головы угадываются гребешок и бороздка.

Татуированными рисунками покрыты и обе ноги мужчины. На левой ноге, на передней части голени, представлена композиция, состоящая из пяти идущих копытных животных. Движение направлено вверх от стопы к колену. На правой ноге спереди, на месте перехода стопы в голень, изображены две фигурки копытных животных, тоже идущих вверх. В целом татуированные рисунки животных на теле мужчины из Пятого Пазырыкского кургана по стилю и манере изображения близки татуировкам из погребений на Укоке и Второго Пазырыкского кургана.

Особенность стилистической манеры заключается в том, что зачерняется передняя часть фигуры, а задняя прорабатывается контуром. Аналогии наблюдаются и в самих сюжетах. Например, изображения птиц на больших пальцах рук, вереницы идущих животных на голени.

Есть татуированные рисунки и на теле женщины из Пятого



Рис.1. Татуировка на левом плече мужчины. Пяты Пазырыкский курган.

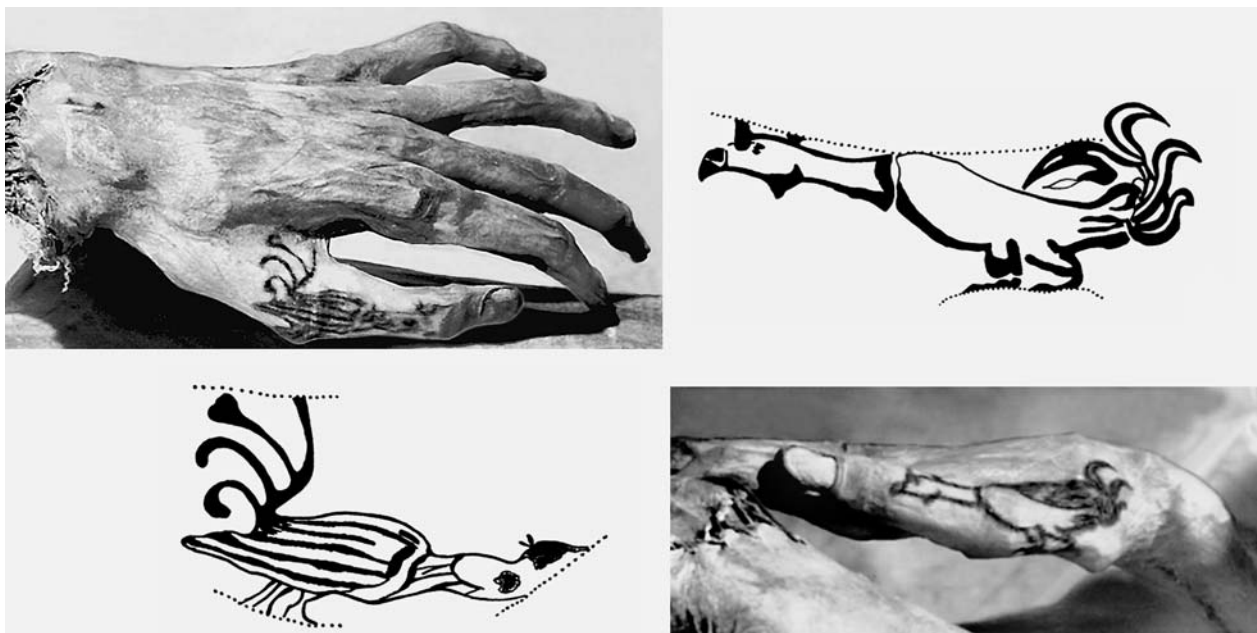


Рис.2. Татуировки на кистях левой и правой рук мужчины. Пяты Пазырыкский курган.

кургана. На левой руке представлена сцена терзания: большая хищная птица клюет оленя. Мотив борьбы зверей — главная тема искусства древних алтайцев и всего скифского мира. На большом пальце левой руки женщины изображена птица с пышным хвостом, гребешком на голове и бородкой — по-видимому, мастер изобразил петуха. Особенно впечатляет сложная многофигурная композиция, развернутая на правой руке, точнее на пространстве от локтя до запястья. Композиция состоит как бы из двух частей (рис.3).

В первой части изображен олень, на которого напал тигр. Фигура тигра дана в сложном повороте: передняя часть тела в фас, голова как бы при взгляде сверху, задняя часть тела в профиль. Во второй части композиции тоже представлена сцена борьбы: на лося напали тигр и барс. Лось изображен с «перекрученным» крупом, задними ногами он пытается отбиться от напавшего хищника. Фигуры животных даны в необычных ракурсах. Все элементы этой многофигурной композиции уравновешены и подчинены замыслу древнего «художника», что может указывать на существование эскиза или разметки, предварявших татуировку. Вообще эта сложная композиция выбивается из общего контекста не только древнеалтайского искусства, но и всего скифского.

Кое-какие параллели можно усмотреть в китайском искусстве [6. С.2—3]. О существовании связей между жителями Горного Алтая и Китая свидетельствуют находки шелковых китайских тканей, обнаруженные в Третьем, Пятом и Шестом Пазырыкских курганах. Одна ткань, найденная в Пятом кургане, представляет особый интерес. Это большое шелковое полотнище, вышитое тамбурным швом. Основной мотив вышивки — птицы-фениксы, сидящие на ветвях дерева. В китайской



Рис.3. Татуировка на правой руке женщины. Пятый Пазырыкский курган.

мифологии фениксы — это символы счастья, они служили пожеланием благополучного супружества [7]. Известно, что подобные ткани изготовлялись в связи с выдачей замуж китайских принцесс. Почему бы не предположить, что женщина, погребенная в Пятом кургане, была привезена из Китая в качестве супруги для пазырыкского вождя, а отсюда, возможно, и необычность ее татуировки?

Что вообще означает татуировка? По мнению С.И.Руденко, татуировка вождя из Второго кургана является символом его социального статуса. Однако открытие новых мумий с татуировками опровергло это мнение: мумия женщины из раскопок Н.В.Полосьмак на Укоке относилась к среднему социальному слою, а мумия молодого мужчины из кургана Верх-Кальджин II принадлежала пред-

ставителю рядовой части общества. Некоторые ученые полагают, что в татуировке заложен основной стержень космогонических представлений. Другие видели в татуированном рисунке знак, обозначающий принадлежность человека к определенному роду.

Татуировки выполняли разные функции. В Древней Греции, например, татуировка существовала как наказание: нанося татуировку на лицо человеку, приговаривали его этим к рабству. В Риме татуировали гладиаторов, ставя знак-клеймо — символ зависимости [8]. Известно, что татуировка наносилась в медицинских целях в качестве средства, снимающего боли. На спине мужчины

из Второго Пазырыкского кургана вдоль позвоночника наколоты точки, предназначенные, возможно, для снятия местных болей.

Что касается зооморфных образов, вытатуированных на телах мумий из Пазырыка, то смысловое содержание их трудно поддается расшифровке. По-видимому, звериные образы имели символическое значение. Например, изображение тигра с оскаленной пастью и выпущенными когтями (на плече мужчины из Пятого кургана) могло олицетворять силу, мощь, смелость. Возможно, татуированные рисунки петуха отражали представления многих древних народов об этой птице как о символе мужского начала

и плодovitости. То обстоятельство, что изображения нанесены на большой палец, связано, быть может, с тем, что большой палец соотносится с эмоциональной сферой человека. Например, большой палец руки, поднятый вверх, означает, что «все в порядке» [9. С.306].

Таким образом, открытие новых татуированных рисунков с помощью инфракрасных лучей показало, что, вероятно, все члены пазырыкского общества, вне зависимости от их социального статуса, имели подобные рисунки на теле. Все они выполнены на очень высоком художественном уровне и являются настоящими произведениями древнеалтайского искусства. ■

Литература

1. Руденко С.И. Культура населения Горного Алтая в скифское время. М.; Л., 1953.
2. Геродот. История в девяти книгах. Л., 1972.
3. Полосьмак Н.В. // Археология, этнография и антропология Евразии. 2000. №4. С.95—102.
4. Полосьмак Н.В. Феномен алтайских мумий // Природа. 1995. №11. С.122—136.
5. Молодин В.И. Культурно-историческая характеристика погребального комплекса кургана №3 памятника Верх-Кальджин II // Феномен алтайских мумий. Новосибирск, 2000. С.86—119.
6. Скартари М. Древний Китай. Китайская цивилизация от неолита до эпохи Тан. М., 2003.
7. Лубо-Лесниченко Е.И. Пазырык и Западный Меридиональный путь. // Страны и народы Востока. М., 1987. Вып. XXV. С.233—247.
8. Mayer A. // Archaeology. 1999. March/April. P.54—57.
9. Жюльен Н. Словарь символов. Челябинск, 1999.

Американский рис содержит в 1.4—5 раз больше мышьяка, чем европейский или азиатский. Дело в том, что в США, особенно в штатах Миссисипи и Арканзас, этот злак выращивают на бывших хлопковых полях, которые ранее обрабатывали инсектицидами на основе мышьяка.

Sciences et Avenir. 2005. №703. P.41 (Франция).

Ежегодно с конца весны до начала осени теплый и сухой ветер из пустыни Сахара (сирокко) выносит на запад, к Атлантическому океану, песчаную

пыль. Сотрудники Университета штата Мэриленд (США), используя спутниковые снимки, показали, что эта воздушная масса ослабляет атмосферную конвекцию (и, следовательно, циклоническую деятельность) в тропиках. Данный феномен особенно выражен у берегов Африки, а по мере удаления на запад он становится менее заметным.

La Recherche. 2005. №388. P.12 (Франция).

В 2005 г. в Швейцарию из Италии пришел медведь. Местные пастухи не возражают про-

тив присутствия зверя. Напомним, что медведь как вид исчез в Швейцарии еще век назад, а с 1980-х годов он взят в Европе под охрану.

Sciences et Avenir. 2005. №703. P.41 (Франция).

Япония намерена удвоить ежегодную квоту промысла китов малых полосатиков до 850 голов, несмотря на возражения Международной китобойной комиссии.

Sciences et Avenir. 2005. №702. P.36 (Франция).

Острова в Южном океане*

И.А.Ман



Иван Александрович Ман за шахматной доской на борту «Оби». Ревущие сороковые. Фото 1958 г.

После посещения о.Маккуори и Новой Зеландии «Обь» — флагманское судно Комплексной антарктической экспедиции Академии наук СССР (1955—1956) — продолжила океанографические работы в Тасмановом море. С 22 апреля судно стояло в Аделаиде под погрузкой зерна для ФРГ. Здесь, в четвертом по численности городе Австралии, «Обь» посетили свыше 10 тыс. австралийцев. Среди них был знаменитый полярный исследователь Д.Моусон, руководитель геологического факультета местного университета. 30 апреля 1956 г. судно направилось к советской полярной обсерватории Мирный, чтобы взять почту зимовщиков, и, наконец, окончательно покинуло район Мирного и направилось домой.

Путь экспедиции проходил вдоль Гауссберг-Кергеленского порога — поднятия океанического дна, протянувшегося от Антарктиды до архипелага Кергелен в Индийском секторе Южного океана и далее к островам Крозе и Принс-Эдуард. Были проведены океанографические исследования по обе стороны порога. Здесь экспедиция встретила с жестокими штормами, самый сильный застал «Обь» на подходе к Кергелену. Как нельзя кстати оказалось приглашение администрации зайти на остров с визитом.

* Продолжение. Начало см.: Природа. 2006. №2. С.69—79. Электронная версия рукописи, иллюстрации и комментарии предоставлены Л.И.Ман (1935—2005).



© Ман И.А., наследники, 2006

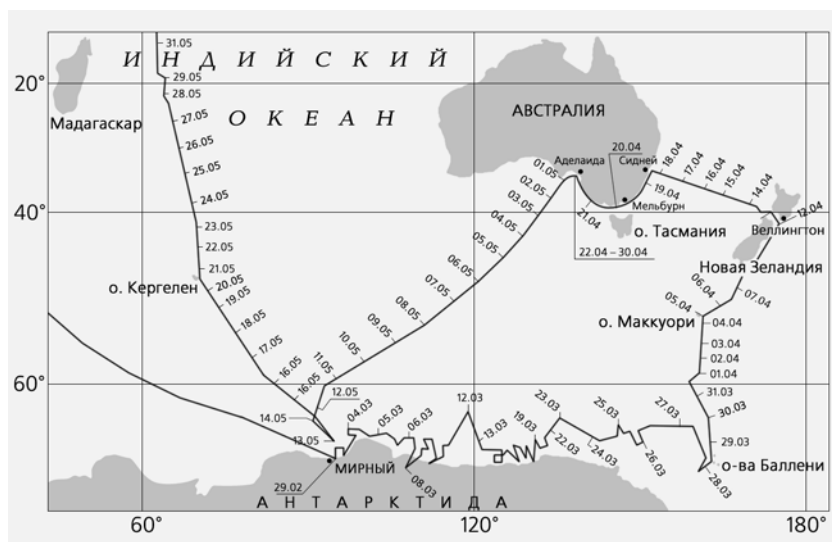
Визит на Кергелен

21 мая 1956 г. на рассвете, выдержав ночью всю тяжесть урагана, мы стали подходить к острову, который все больше и больше закрывал нас от разгулявшихся огромных 25-метровых волн. Наконец воды на палубу стало попадать меньше, равномернее заработал двигатель, плавание стало более спокойным, увеличилась скорость хода. На экране радиолокатора, сначала у самого его края, а затем все ближе и ближе к центру, появилось изображение юго-восточного берега главного острова.

По существу, Кергелен — не остров, а целая группа островов, архипелаг, состоящий из 300 островков, отдельных скал и групп выступающих из воды камней. Серое утро, низкая облачность, временами идет дождь попеременно со снегом, шквалы. Волнение уже совсем незначительное. Теперь мы находимся с подветренной стороны острова. Вскоре открываются и долгожданные берега — серые, пустынные, неприветливые. У самого входа в пролив Па Руайаль проводим океанографическую станцию и дважды опускаем трал. Результаты сбора намного превосходят все наши ожидания. Ихтиологи с радостью обнаруживают в трале несколько белокровных рыб. В их крови отсутствует гемоглобин. Такие рыбы в этом районе обнаружены впервые. Со дна добыты также головоногие моллюски. <...> Они живут только в водах Южного полушария и, казалось бы, сбор их не столь уж необычен. Однако профессор Павел Владимирович Ушаков не может скрыть своей радости. Головоногие в этом районе — редкость. Как правило, к подъему трала на кормовой палубе собирается много народу. Появление трала за бортом, а затем на палубе и сортировка сбора представляет не только научный, но и своеобразный спортивный интерес. Сегодня, после шторма, у нового никогда прежде не виденного берега, —

на палубе почти все. <...> Кто может остаться равнодушным и не взглянуть на берега и на необычайно богатый улов, так не гармонирующий с пустынной берегов? Низкая облачность закрывает верхнюю часть берегов, но хорошо видны угрюмые серые скалы без единого кустика и травы. Многочисленные низкие островки и отдельные камни тоже безжизненны. Теперь становится понятным, почему Дж.Кук записал в своем дневнике после посещения Кергелена: «Я с полным правом мог бы назвать этот остров островом Опустошения». Утро нашего прибытия в Порт-о-Франс было пасмурным. Кергелен произвел на нас впечатление серое и унылое. Однако когда в середине дня прояснилось, нашим взорам предстала совсем иная картина. Очистилась от облаков ледяная вершина горы Росса. Ее кристальный конус <...> кажется величественным и огромным, хотя высота горы всего только 1959 м. Воздух стал настолько прозрачным, что гора кажется совсем близкой. Не верится, что до нее добрых 70 км. Когда смотрим через залив Морбиан, прямо на юге от Порт-о-Франс над дымкой, застилающей залив, как бы висит правильный белоснежный равнобедренный треугольник горы Уайвил Томсон. Он напоминает Фудзияму — такой, как ее изображают японские художники. Те же светлые и нежные пастельные тона. Когда же на небе полностью засияло солнце и дымка над заливом рассеялась, вода залива стала синей, окраска дальних мысов изменилась, здесь и там появились зеленеющие пятна акаеи и азореллы — основной растительности этих островов. Суровость и опустошенность ландшафта исчезла.

Климат Кергелена морской. Разница между средними годовыми температурами зимы и лета небольшая. Так, например, средняя температура самого теплого летнего месяца (января) 7.7°C, а самого холодного зимнего месяца (июня) — 0.1°C. Самая низкая из всех наблюденных темпе-



Маршрут «Оби»
в марте—мае 1956 г.

«Обь» у берегов Антарктиды.



ратур была -9.4° , а самая высокая — 15°C . Температуры моря, фактически обуславливающие температуру воздуха над островом, — 1.7°C зимой и 7.6°C летом. Если годовая температура невысокая, то в течение суток она меняется довольно значительно, нередко на 10°C и даже больше. Ясный теплый день в течение нескольких часов может совершенно измениться. Небо заволакивается тяжелыми темными облаками, пронзительный ветер приносит холод и дождь попеременно со снегом. Это объясняется тем, что острова расположены в зоне Антарктической конвергенции. Здесь <...> холодные воды Антарктики с очень низкими температурами встречаются с более теплыми водами субантарктики и, опускаясь под ними в глубь океана, распространяются далее к северу и образуют донные холодные течения. Этот процесс и место формирования этих вод является одной из тем, интересующих океанографов. <...>

Кергелен лежит вблизи путей глубоких южных циклонов, которые в частой последовательности пронесются друг за другом вокруг Антарктиды. Многие океанографы считают, что район островов Кергелен — самое бурное место в мире. Конечно, это утверждение требует проверки временем и многочисленных наблюдений. Но место, безусловно, бурное. Достаточно сказать, что из 365 дней года 300 дней здесь дует ветер силой не менее 8 баллов (т.е. 17 м/с). Из этих 300 дней 103 дня дует ветер со скоростью, превышающей 25 м/с. Нередки ветры ураганной силы со скоростью выше 29—30 м/с. Самый сильный ветер на Кергелене достигал скорости 55 м/с, а максимальная скорость, зафиксированная на острове, была даже 65 м/с. Ученые, зимовавшие здесь несколько раз, рассказывают, что были случаи, когда вода некоторых из многочисленных водопадов в горах Кергелена при неистовых порывах ветра прекра-

щала свое падение и даже в течение некоторого времени поднималась вверх. Оставим достоверность этого рассказа на совести рассказчиков. У нас нет оснований им не верить, хотя это представляется невероятным. Как бы то ни было, условия жизни на Кергелене серьезно осложняются такими ветрами. Пожалуй, это самая большая трудность здешних мест.

Па Руайяль широк. Его глубины достаточны для захода судов с любой осадкой. Однако во многих местах видны обширные площади воды, густо покрытые крупными бурыми водорослями *Macrocystis pyrifera*, или, проще, — келпом [от англ. kelp — бурая водоросль. — Л.М.]. Как правило, эти гигантские водоросли растут на каменистых отмелях и банках. Их не следует пересекать. Во-первых, потому, что в большинстве случаев в тех местах, где они растут — мелкогато, а во-вторых, потому что их толстые (толщиной в руку) стволы могут опутать винт и, в конце концов, даже его заклинить. Стволы этих водорослей очень длинные. По некоторым описаниям, их длина якобы может достигать нескольких сот метров. Вероятно, это преувеличение. Несколько измерений, сделанных нами на берегу, куда эти водоросли выбрасываются прибоем в больших количествах, дали максимальную длину в тридцать два метра. В открытом океане в районе Кергелена часто встречаются целые плавучие острова келпа. Оторванные от грунта волной, они течением выносятся в океан. Их стебли, а вернее стволы, в этих случаях спутываются в клубки и часто служат причиной утраты выпущенных за борт судовых лаговых вертушек [частей прибора для определения скорости судна. — Л.М.].

Погода быстро улучшается. Облака редуют. Вырисовываются отдельные вершины гор, покрытые снегом и ледниками. Траление закончено. Палубу



Известный полярный исследователь Д. Моусон, руководитель морской части Комплексной антарктической экспедиции Академии наук СССР В. Г. Корт и И. А. Ман в Аделаиде.

дружно убирают. Поднимаем флаги: на фалике в средней части корабля — позывные нашего судна из четырех флагов. Это отличительный сигнал для каждого морского торгового судна независимо от его национальной принадлежности. Мы также поднимаем желтый санитарный флаг, показывающий, что у нас на борту нет заразных эпидемических заболеваний. Лоцманский флаг не поднимаем. Мы зайдем в Порт-о-Франс самостоятельно, без помощи лоцмана. Карты у нас есть. Небольшую консультацию о месте якорной стоянки мы уже получили по радио от администратора острова месье Паскаля. Под клотиком нашей фок-мачты развевается новенький французский флаг. Это — долг вежливости, предписываемый международными обычаями. Мы охотно их выполняем, памятуя о той любезности, с которой было передано нам приглашение администрации острова. На грот-мачте <...> развевается алый советский флаг. Мы гордимся тем, что именно нам довелось

принести его сквозь шторма и бескрайние просторы океанов на этот заброшенный и далекий остров впервые за все время его существования. Действительно, «Обь» — не только первое советское, но и первое русское судно, которое побывает на Кергелене.

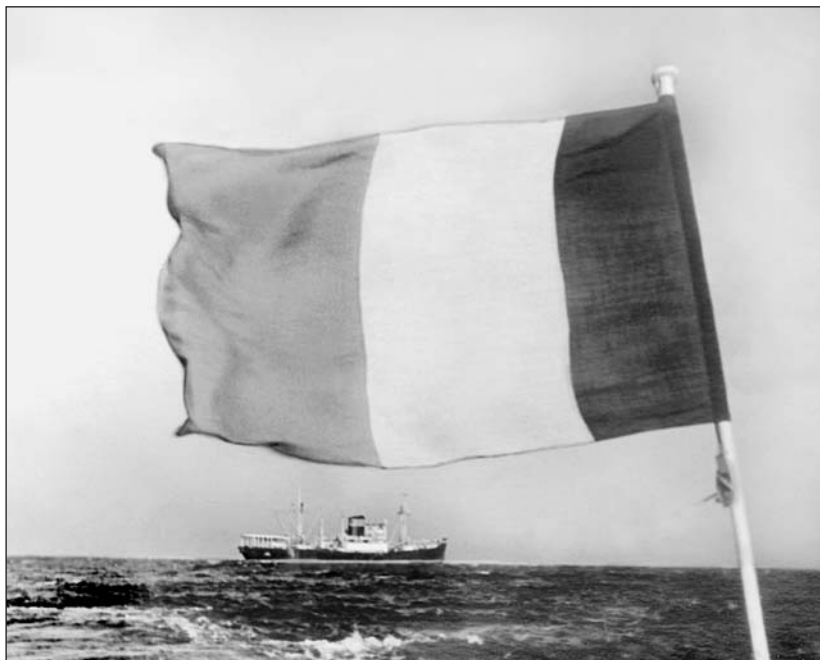
Вот мы уже проходим маленький островок в заливе Морбиан-Чаннер. Прямо по носу совсем уже близко Порт-о-Франс. На юге за кормой небо совершенно прояснилось, на его светлом фоне четко выделяется высокая вершина потухшего вулкана — гора Уайвил Томсон. Это не самая высокая вершина острова и, возможно, не самая живописная. Но сейчас не до любования красотами. Мы уменьшаем ход и, лавируя между зарослями келпа, приближаемся к якорной стоянке. У штурманов много работы... Наконец подаю команду «отдать правый якорь». Грохочет цепь в клюзе. Сначала нос судна быстро катится под ветер, судно разворачивается. Кажется, что бывший у нас почти впереди поселок начал быстро отходить к корме. Еще немного, и он скроется за нею. Но движение замедляется, судно останавливается, и здания поселка и высокая мачта перед ними с развевающимся на ноках реи французским и советским флагами снова медленно движутся вдоль борта к носу судна. Это «Обь» разворачивается, «приходит» на якорь. Якорная цепь понемногу вытравливается. С бака доносится шесть ударов колокола, что означает, что шесть смычек цепи уже вытравлено за борт. Вслед за этим с судна доносят, что якорь держит. Второй якорь находится в готовности на случай, если усилится ветер или налетит шквал. А пока машина «отпускается». На носу судна поднимается черный шар, означающий, что судно прекратило движение и стоит на якоре.

Почти одновременно с этим из-за мыса появляется щеголеватый белый катер. Он несется к нам, рассекая мелкую крутую волну. Вскоре становится возможным различить знакомое нам название катера — «Гро Вентр». Так назывался один из кораблей отряда Кергелена [И. Ж. Кергелен — французский мореплаватель (1734—1797). — Л. М.], открывшего эти острова.

На станции

Через 30 мин мы готовы к съезду на берег. Установлены очередность и время пребывания на берегу. Неустойчивая погода, стоянка на якоре на неизвестном для нас рейде требуют оставления на борту не менее половины экипажа. Вывоз людей на берег будет осуществляться судовым катером и катером «Гро Вентр». Группа ученых во главе с Владимиром Григорьевичем Кортом, несколько моряков и неперменный участник всех «выездов», симпатичнейший ученый секретарь экспедиции Евгений Матвеевич Сузюмов

«Обь», сфотографированная на подходе к архипелагу Кергелен с французского катера «Гро Вентр».



спускаются вслед за Реденэ в катер. Любуемся нашим замечательным кораблем. Освещенный скупыми лучами солнца, он оживляет суровую и неприветливую природу вокруг. «Обь» стоит близко от берега. Поэтому спустя пять минут мы уже выходим на крошечный причал, укрытый от волн залива небольшим мыском. Нас ожидает сам администратор острова месье Паскаль — худощавый брюнет 35—40 лет в форме колониальной администрации. С ним — большая группа зимовщиков. Большинство из них в военной форме. Летчики, инженеры, связисты, ученые. Раздаются шумные приветствия на французском языке, который мы понимаем от силы на три с минусом. Выручает Донсков. Среди встречающихся обращает на себя внимание высокий крепко сложенный человек. Он — эльзасец, одинаково хорошо владеющий французским и немецким. Неплохо говорит он и по-английски, что облегчает разговор. Тут же выясняется, что наш высокий собеседник — это патер Шабрие. Он — полезный человек на зимовке. Его вторая специальность — механик. На причале три небольших джипа. Мы все сразу не помещаемся. Джипам придется сделать еще три рейса, чтобы доставить нас всех на станцию. Впрочем, расстояние до станции — не более 400 м. Поэтому поездка на автомобилях является скорее данью уважения, чем необходимостью. А вот после осмотра станции, научных павильонов, фермы, оранжереи эти джипы действительно очень пригодились и позволили нам съездить в глубь острова и на океанский берег посмотреть птичьи базары и лежбища морских слонов. Передвигаться по острову далеко не так легко, как могло показаться сначала. Дело в том, что поверхность острова

или загромождена трудно проходимыми обломками скал и камнями, либо, в низких местах, сильно заболочена. Считается, что передвигаться на Кергелене в три раза труднее, чем в любом другом лишенном дорог месте. Берег до самой станции — низкий, заросший пучками травы акаены. Здесь и там видны спины лежащих среди нее морских слонов. Сейчас начинается зима, поэтому их сравнительно немного.

Дорога насыпана из камней и идет зигзагом к площадке перед зданиями станции. Тут нас ждут остальные зимовщики. Радостные улыбки, рукопожатия, и сам Паскаль показывает нам станцию. Она расположена в глубине небольшой бухты, где мы начали наш путь. Станция состоит из двух главных одноэтажных домов длиной около 40 м и шириной 7—8 м. Они стоят в линию поперек направления господствующих северо- и юго-западных ветров. От домов очень полого идет спуск к воде шириной в 300—500 м, густо заросший одним из самых распространенных на острове растений — акаеной. В одном из домов находится кухня. Тут же большая столовая с библиотекой и различными играми — шахматами, шашками, домино, костями. Есть и карты. Кроме того, в этом здании находится двадцать небольших жилых комнат, большая умывальная, душ. Во втором здании — большой зал для собраний, служебные кабинеты и жилые помещения для женатых — маленькая спальня, кабинетик, кухня, и душевая. Сейчас, конечно, никаких семей здесь нет, и здесь размещается административный состав. Остальная часть отведена под госпиталь, операционную, изолятор. Здесь же жилые помещения медперсонала и капеллана. Неподалеку от главных зданий расположено единственное двухэтажное здание.



На джипах советских полярников везут на французскую геофизическую станцию Кергелен.

Это метео- и радиостанции. В нижнем этаже размещается почта. Здесь зимовщики могут писать и отправлять частные радиограммы. В отличие от наших правил, здесь — строгий лимит: всего 85 слов в неделю на человека. <...> На довольно значительном расстоянии от станции расположены павильоны, мастерская, склады, электростанция. В связи с частыми очень сильными ветрами и в целях пожарной безопасности, научной станции уделено большое внимание и, прежде всего, ее планировке и размещению построек на больших расстояниях друг от друга. Дерево, из которого построены здания, пропитано специальным огнестойким веществом. Везде в большом количестве развешены огнетушители и пожарные шланги, подсоединенные к водопроводу. Все это хорошо, но не идет ни в какое сравнение с нашим Мирным. Зато ферма, гордость зимовщиков Кергелена, вызвала у нас восхищение. Коровы, овцы, свиньи находятся в отличном состоянии и прекрасно содержатся. Везде замечательная чистота и порядок. Кроме скота, кур и уток, тут же за холмиком расположены огород и парники. Несколько странное впечатление на этом фоне производит пара медленно раскачивающихся королевс-

ких пингвинов. Огород небольшой, в нем преимущественно растет капуста. Она нам незнакома и даже и не похожа на настоящую капусту — мясистые листья загнуты внутрь, но не образуют кочанов. Тут же на вытянутом вверх стебле уже увядшие цветы. Это так называемая кергеленская капуста, славившаяся когда-то у моряков как отличное противочинготное средство. Сейчас эту капусту почти полностью уничтожили завезенные сюда в прошлом столетии кролики, <...> ставшие поистине бичом для скудного растительного покрова острова. Но и сами кролики пострадали — они почти вымерли от голода. Оставшиеся грызуны влачат жалкое существование. Сейчас даже принимаются меры к тому, чтобы покончить с ними окончательно. С этой целью на остров завезли несколько лисиц.

Оранжерея невелика. Рядом с нею размещены парники. В них знакомые нам огурцы, редиска и множество салата.

«Обь» тоже привезла в Мирный несколько свиной из Кейптауна, а «Лена» доставила поросят из Калининграда. У нас нет сомнения, что поголовье свиной к будущему году увеличится. За это ручался начхоз Якубов, а уж он-то знает свое дело. Зи-

мовщики получают хорошее подспорье к своему рациону. Надо будет в будущем году подвезти в Мирный земли, а солнечного тепла там в летнее время — хоть отбавляй.

Осмотр острова закончен. Мы снова собираемся перед главными зданиями возле мачты, на которой на сильном ветру развеваются флаги наших стран — трехцветный французский и наш советский. Фотографируемся на память. Фотографы очень волнуются, им хочется снять группу так, чтобы была видна мачта с флагами и «Обь» на рейде. Однако это непросто. Снимать приходится почти против солнца. Тут же неподалеку стоит столб, на котором стрелки, указывающие направления отсюда на крупнейшие города и столицы мира с расстояниями до них в километрах. Конечно, это кратчайшие расстояния или, как говорят, расстояния по полету голубя. До Москвы ему пришлось бы пролететь 11 780 км. Это ближе, чем до Парижа, туда 18 540 км, но все же немного дальше, чем до Токио — 11 704 км. Не следует забывать, что мы находимся в восточной половине земного шара на 70-м меридиане. Становлюсь около столба и, повернувшись в сторону Москвы, стараюсь мысленно представить себе, через какие моря и страны полетит наш голубь на родную сторону. <...>

Возвращаюсь к действительности. <...> Наши люди расходятся по острову. Геологам хочется побродить и посмотреть камни и набрать образцов. Биологи рвутся на берег океана к птичьим базарам пингинов, гнездовьям буревестников и альбатросов; метеорологи идут на метеостанцию. Мы с Паскалем направляемся в библиотеку, чтобы познакомиться с работой станции, планами и перспективами. Основание станции в Порто-Франс имело целью еще раз утвердить владение Францией островами Кергелен, проводить систематические метеонаблюдения, столь важные для прогнозирования погоды в Южном полушарии, выяснить возможности создания здесь аэродрома, который позволил бы значительно сократить путь между Кейптауном и Пертом. Станция также должна помочь выяснить возможность восстановления зверобойного промысла и его перспективность. Были сделаны попытки получить химикаты из водорослей, которыми кишат воды, прилегающие к островам. Однако это оказалось экономически невыгодным. Но это еще нужно проверить. Сейчас ясно, что в отличие от района океана, где расположен о.Новый Амстердам, принадлежащий Франции, воды вблизи Кергелена бедны рыбой. В некоторых местах острова был найден уголь, однако он низкого качества. Но более серьезных поисков и разведки не проводилось. Наконец, остров имеет довольно важное стратегическое значение. Во время войны он использовался как база немецкими рейдерами, что позволяло им активно действовать на путях между Австралией и Южной Африкой. <...>

Морские слоны и птицы

Мы уже встречали морских слонов на о.Маккуори, но здесь познакомились с ними поближе и поподробнее. Особенно интересно о них рассказал доктор зимовки. Тут же на берегу нам показали наиболее крупных представителей этого отряда животных, безмятежно лежащих среди пучков акаены и напоминающих коров на лугу. Конечно, они значительно больше коров. Некоторые наиболее крупные особи достигают 5—6 м в длину и весят 2—3 т. Они несообразно жирны, спокойны и пассивны. Человека не боятся. Нашим фотографам пришлось побегать вокруг этих животных, прежде чем им удалось раздражить их настолько, чтобы они подняли головы и начали двигаться. Передвижение на суше для них — дело нелегкое. Они отталкиваются передними короткими ногами от земли и тянут живот по грунту. Их широкие морды грубы и безобразны. Над широкими челюстями торчат длинные жесткие усы. Большие круглые глаза постоянно слезятся. Вместе с тем у молодых телят глаза выпуклые, очень выразительные и красивые. Ноздри взрослых особей наполовину заполнены беловатыми выделениями. Грубая серо-коричневая шкура покрыта пятнами и многочисленными рубцами. Самцы над верхней частью рта имеют нарост, отдаленно напоминающий хобот слона, и поэтому животные получили название морских слонов. В гневе этот нарост наливается кровью, увеличивается в размере и далеко выдается вперед. Поэтому прежде чем их сфотографировать, их пытаются раздражить. Хотя морды животных грубы и непривлекательны, они все же хорошо отражают простейшие эмоции — страх, беспокойство и гнев, пожалуй, даже лучше, чем морды более высокоорганизованных существ. <...>

Мы узнали, что на островах находятся несколько видов пингинов. Прежде всего это королевские пингины, наиболее близкие по размерам, повадкам и характеру к знакомым нам по Антарктиде императорским пингином, но уступающие им по величине и весу. Взрослая птица достигает 78 см в высоту и 40 кг в весе, тогда как императорский пингвин достигает высоты в 105 см и 55 кг веса. Королевские пингины спокойны и неторопливы.

Более многочисленны пингины, которых здесь называют женту (gentoo). По виду они напоминают антарктических аделей. У них тоже черная спина и крылышки, а грудь и живот — белые. Над глазами идущая к ушам белая полоса. Женту необычайно резвы и сварливы. Подбно адели, они часто бросаются вперед с раскрытым клювом и хватают все, что бы вы им ни подсунили. В отличие от других пингинов, они сносят и высидивают по два яйца. Именно высидивают, а не «выставляют», как прочие пингины. Меньше других на Кергелене пингинов-рокхоперов [от англ. rock



От Кергелена до Москвы — 11 780 км. Рядом с французским полярником — советский.

горрег — прыгун по камням. — Л.М.]. Это небольшие птицы, прыгающие по скалам с камня на камень. Часто они забираются на большую высоту. Спина у них тоже черная, а грудь белая. От красного клюва вправо и влево к ушам в два ряда идут черно-желтые эгреты (хохолки). Эти пингвины держатся парами, проявляя друг к другу большую нежность.

Северные берега п-ова Курбэ на Кергелене занимают макарони. Французские зимовщики считают, что количество этих птиц — около миллиона. <...> На их головах есть эгрет, который в отличие от эгрета рокхоперов идет не с боков головы к ушам, а тянется прямо назад через всю голову. Общее количество пингвинов на Кергелене — не менее трех миллионов (конечно, весьма приблизительно).

Довольно высоко на скалах и далеко от берега мы находили много больших раковин, обычно битых. Это заинтересовало нас. Не является ли это свидетельством быстрого поднятия острова? Однако ларчик открывался просто. Доминиканские чайки (названные так из-за их черно-белого оперения, напоминающего одежду монахов-доминиканцев) питаются мелкими моллюсками и моллюсками, живущими в больших раковинах в море у подножия скал. Не имея возможности полакомиться содержимым раковин, которые захлопываются при приближении опасности,

чайки поднимают раковины высоко в воздух и бросают их на скалы. Раковины разбиваются, чем и пользуются эти крылатые «лисы». Огромное количество обломков раковин показывает, что чайки пользуются этим способом весьма часто. На острове, кроме чаек, немало и других птиц. Можно увидеть морских ласточек, капских буревестников, бакланов, серебристых чаек. Встретились нам и поморники. Эти хищники в большом количестве водятся и у берегов Антарктиды. Как правило, поморники держатся среди пингвинов. Они часто выкрадывают пингвины яйца и молодых пингвинов. На взрослых и здоровых пингвинов они не нападают. Но горе заболевшему или попавшему в беду <...>.

Говорят, что поморники нападают даже на людей. <...> Во время моего первого выхода на берег Антарктиды в бухте Депо я сам испытал неприятное чувство, что птица готова на меня напасть. <...> Я довольно глубоко провалился в трещину в огромном уплотненном снежном сугробе <...>. Когда, усталый, наконец, с немалыми трудностями выбрался и присел отдохнуть, то увидел, что прямо на меня сверху вниз стремительно летит серо-коричневая птица. Инстинктивно я взмахнул лыжной палкой. Птица взмыла вверх прямо перед моим лицом. Запомнились ее круглые, немигающие, неподвижно уставившиеся на меня глаза и выпущенные загнутые когти. Свой маневр

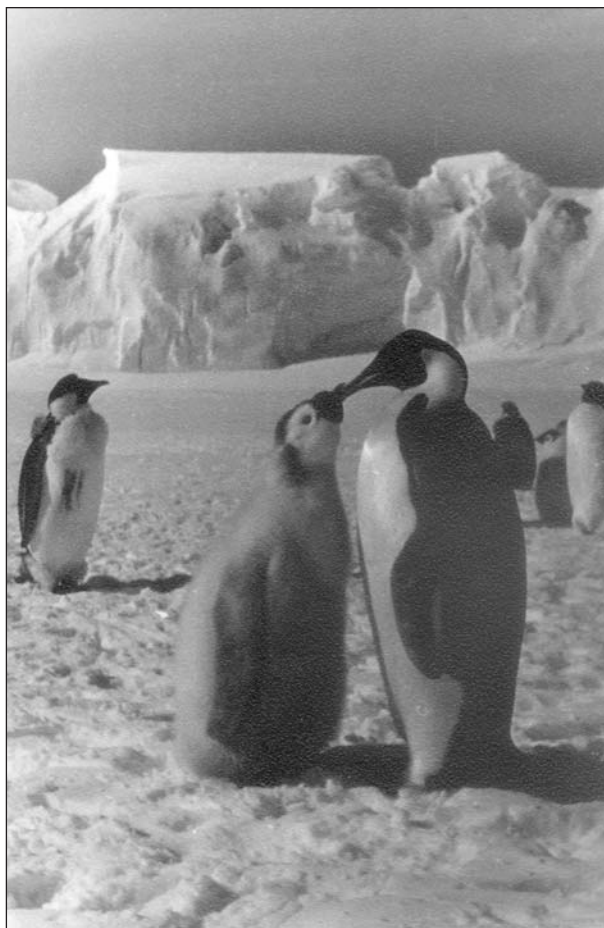
птица повторила несколько раз. После этого слухая чувство настороженности не покидало меня всякий раз, когда мимо меня или надо мной пролетали поморники. <...>

Еще до захода в Кейптаун, войдя в холодное Бенгельское течение, мы встретились с громадными буревестниками и альбатросами. Один буревестник, подбивший себе крыло, ударившись о ступеньку трапа, несколько дней прожил на судне в плену. Размах его крыльев был около трех метров. Буревестники поражали нас красотой полета, парением, молниеносным падением к поверхности воды и смелыми поворотами, когда казалось, что птица вот-вот зацепит гребень волны и упадет в воду. Но никто из нас ни разу не заметил ни малейшей неловкости. Эти птицы целыми днями могут сопровождать корабли далеко от берегов. Нередко птиц, окольцованных на одном из субантарктических островов, встречали на других островах, разделенных от первых тысячами миль. Но это типичные птицы Южного полушария. Они никогда не перелетают на север и держатся главным образом в субантарктических водах, хотя нередко залетают вслед за судами значительно ближе к экватору. Буревестники кладут яй-

ца и выводят птенцов на субантарктических островах — Принс-Эдуард, Кергелене, Крозе, Херде, Маккуори и т.д. Особенно красивы странствующие альбатросы. Белоснежно белые с черными кончиками крыльев, они достигают невероятной величины. Один из пойманных нами экземпляров имел в размахе 3 м 24 см и весил около 8 кг. Здесь, на Кергелене, на месте их гнездования наши биологи имели возможность значительно ближе познакомиться с этими птицами в естественных для них условиях. К сожалению, короткая стоянка не позволила сколько-нибудь подробно изучить жизнь этих птиц. <...>

Другая близкая по размеру птица с похожим полетом, гнездящаяся на Кергелене, это гигантский буревестник с серо-коричневым, а иногда и с совершенно серым оперением. Встречаются и черные буревестники с длинными тонкими перепончатыми лапами. Они далеко не так красивы, как альбатросы.

Наконец, мы все собираемся вместе. Нас торжественно приглашают в столовую к празднично и красиво сервированному столу. Прекрасная французская кухня, много зелени, отличное сухое вино. Отведали мы и прославленного француз-



Обитатели антарктических островов — морские слоны и пингвины.

кого шампанского. Хороши местные устрицы. Их подавали в разных видах. Свежими с лимоном, вареными с соусом и жареными с рисом. Время за столом бежит незаметно. Поэтому сразу же после кофе отправляемся назад на судно. Вместе с нами и радушные хозяева.

На «Оби» все уже подготовлено. Сразу же начинается осмотр судна — мостика, жилых помещений, машины. «У вас все блестит, как на военном корабле», — говорит Паскаль нашему главному механику Белову. Иван Павлович расцветает от удовольствия. Раньше он плавал на пассажирских судах Ленинградско-Лондонской линии и знает, что такое чистота и как ее надо поддерживать. Особое впечатление произвели на гостей наши научные лаборатории с большим количеством приборов высокого качества. Вслед за осмотром судна начинается киносеанс, прошедший с большим успехом. Тут же был сделан подарок зимовщикам — наш кинофильм «Запасной игрок». Приглашаем гостей на ужин. Кажется, что в этот раз наш замечательный шеф-повар М.З.Урясьев превзошел самого себя. В конце ужина гости потребовали привести повара и устроили ему овацию. Совершенно заслуженная дань уважения его мастерству. Наконец на борт привезли нарядные

пакеты — это корреспонденция, которую мы доставим и сдадим французскому консулу в Суэце. Наша «Обь» становится прямо-таки почтовым судном. Впору нести и почтовый флаг. Мы доставили почту зимовщиков с о.Маккуори в Новую Зеландию, везем почту из Мирного на родину, а теперь приняли почту на Кергелене*.

Начинаем прощаться. Чувствуем содрогание корпуса — это запускаются один за другим дизеля, генераторы. На берегу зажигают небольшие створные огни. Они помогут нам пройти узким фарватером между зарослей келпа и банками. У борта «Оби» стоит в полной готовности катер. Он уже отвез на берег одну группу гостей. Сейчас садятся последние. <...>

Прощайте, простые радушные люди. <...> Пусть этот суровый осколок суши послужит на благо людей.

Материал подготовила **М.Ю.Зубрева**

* Далее «Обь» направилась к о.Родригес из группы Маскаренских о-вов, где были проведены океанографические исследования. Затем, выполняя обязательства по доставке зерна в Гамбург, судно двинулось на север, через Суэцкий канал, Средиземное море, Гибралтарский пролив, в Северное море. И, наконец, завершило свое славное плавание 8 июля 1956 г. в Ленинграде.

Ботаника

«Взрывное» цветение

Кизил канадский (*Cornus canadensis*) в период цветения побивает рекорды в скорости двигательной реакции, которые принадлежат кузнечнику во время прыжка и растению-мухоловке при выбросе стрекальца для отлова насекомых. Цветок канадского кизила — жителя влажных лесов Северной Америки — раскрывается менее чем за 0.5 мс, катапультируя пыльцу на высоту до 2.5 см.

Д.Эдвардс (D.Edwards) и его коллеги сняли на киноленту «взрывной» тип цветения *C.canadensis*. Длина его пыльника в 10 раз больше размера цветка. Когда лепестки раскрываются, тычинки испытывают ускорение приблизительно в восемь раз большее, чем то, которому подвергаются астро-

навты при взлете космического корабля.

Sciences et Avenir. 2005. №700. P.32 (Франция).

Охрана окружающей среды

Поиск нефти на Аляске

Сенат США 51 голосом против 49 одобрил в марте 2005 г. проведение изысканий на нефть в Арктическом национальном резервате, расположенном на побережье моря Бофорта на площади 8.7 млн га; 8% этой площади отводится под буровые работы.

Результаты голосования, поддержанные Белым Домом, положили конец 20-летнему спору между нефтяными компаниями и защитниками окружающей среды, с которыми солидарно местное население. Сторонники геологоразведочных

работ утверждают, что нефтепромысел в резервате будет давать 1.5 млн баррелей нефти в сутки на протяжении 20 лет, а нефтедобыча, проводимая по экологически чистым технологиям, откроет тысячи рабочих мест. Противники же возражают, указывая на нефтепромыслы в заливе Прудхо, соседствующем с резерватом, где уже нанесен серьезный урон окружающей среде в результате 400 утечек нефти. Кроме того, разведочные работы сосредоточатся в прибрежной части резервата, где обитают перелетные птицы, мускусные овцебыки, белые медведи, олени-карибу. Защитники окружающей среды опасаются еще и того, что решение Сената не ставит преграду на пути изыскательских работ в других заповедных местах, особенно в Калифорнии.

Science et Vie. 2005. №1052. P.42 (Франция).

Новости науки

Астрофизика

Черная дыра в Туманности Андромеды окружена звездами

Астрономам уже давно известно, что в ядре галактики Туманность Андромеды (M31) есть два пика яркости видимого излучения — P1 и P2. В начале 1990-х годов выяснилось, что пик P2 совпадает с областью более коротковолнового излучения, которую незатейливо назвали P3. Уже три года спустя выяснилось, что источником этого излучения является скопление молодых горячих звезд, но лишь теперь Р.Бендеру (R.Bender; Мюнхенский университет, Германия) и его коллегам удалось подсчитать эти звезды и определить их пространственное распределение.

По данным, полученным с помощью космического телескопа «Хаббл», они установили, что в объект P3 входит около 400 звезд, образующих диск поперечником всего 1 св. год, что очень мало по космическим меркам. Эти звезды относятся к короткоживущим, а значит, теперешнее население диска возникло совсем недавно, примерно 200 млн лет назад в результате единой вспышки звездообразования.

По мнению исследователей, ядро M31 состоит из двух вложенных один в другой звездных дисков: один — более обширный — наблюдается в виде пиков P1 и P2; второй — компактный диск P3 — непосредственно окружает центральную черную дыру. Самые быстрые из звезд совершают один оборот вокруг центра галактики за 100 лет, двигаясь со скоростями, измеряемыми сотнями километров в секунду. С такой же ско-

ростью вращался вокруг черной дыры и газ, из которого они образовались. Столь неистовое движение и жесткие физические условия вблизи черной дыры должны были препятствовать звездообразованию.

Однако все факты пока говорят о том, что формирование звезд в непосредственных окрестностях массивного компактного объекта представляет собой не уникальное, а вполне обыденное явление. Во-первых, маловероятно, что при возрасте Туманности Андромеды в 12 млрд лет такой короткоживущий диск появился там именно сейчас, поэтому механизм образования диска не может быть «одноразовым». Во-вторых, подобные массивные звезды есть и в непосредственном окружении центральной сверхмассивной черной дыры Млечного Пути. И тем не менее природа диска P3 остается совершенно загадочной.

Так или иначе, новые наблюдения налагают существенное ограничение на размер и массу центрального темного объекта Туманности Андромеды. Размер его, видимо, не превышает размеров диска, а масса равна 140 млн масс Солнца. Авторы подробно анализируют возможность объяснения природы центрального объекта в M31, не прибегая к гипотезе о черной дыре, и приходят к выводу, что на сегодняшний день такое объяснение невозможно.

Таким образом, Туманность Андромеды становится третьей (после Млечного Пути и NGC 4258) галактикой, в которой существование центральной черной дыры можно считать практически доказанным.

Astrophysical Journal. 2005. V.631. P.280 (США).

Астрономия

Открыта идеальная экзопланета

На сегодняшний день подавляющее большинство планет вне Солнечной системы открыто методом лучевых скоростей, который в действительности позволяет судить лишь о наличии планеты, но не дает никаких сведений о ее свойствах. Ситуация меняется для планет, орбиты которых наклонены к лучу зрения под небольшими углами. В этом случае есть надежда зафиксировать планетное затмение, т.е. прохождение планеты по диску звезды. По продолжительности и глубине затмения можно определить размер планеты (поскольку известен угол наклона ее орбиты к лучу зрения, точнее, известно, что он мал), а также измерить ее массу. Именно поэтому особое внимание астрономов привлекают так называемые «транзитные» планеты.

Девятая по счету затменная система с планетой, открытая 15 сентября 2005 г., имеет все шансы в ближайшие годы стать одним из излюбленных объектов для наблюдений. О ее открытии сообщили в октябре 2005 г. М.Майор (M.Mayor; Женевская обсерватория, Швейцария) и его коллеги. Планета обращается вокруг довольно яркой звезды HD 189733 в созвездии Лисички. Поначалу она была обнаружена с помощью традиционного метода лучевых скоростей на 1,9-метровом телескопе Обсерватории Верхнего Прованса (Франция). Ее небольшой орбитальный период (2.219 дня) означает, что планета находится очень близко к звезде, а это повышает шансы на обнаружение затмения. Последующие наблюдения систе-

мы на 1.2-метровом телескопе той же обсерватории показали, что надежда эта оправданна: планета действительно периодически проходит перед звездой, примерно на два часа ослабляя ее блеск на 3%. Это самое «глубокое» затмение среди всех транзитных планет.

Совокупность данных о затмениях и вариациях лучевой скорости звезды свидетельствует, что обращающаяся вокруг нее планета имеет массу, равную 1.15 массы Юпитера, и диаметр в 1.26 раз больше юпитерианского. Планета нагрета излучением звезды до температуры в несколько сотен градусов и потому обладает довольно низкой плотностью (0.75 г/см³). Эти параметры делают планету звезды HD 189733 уникальным объектом для изучения свойств планетных атмосфер. Во-первых, затмения происходят часто. Во-вторых, из-за относительно большого размера планеты они достаточно глубоки, чтобы их можно было наблюдать в небольшие, даже любительские телескопы. В-третьих, система удалена от Солнца всего на 63 св. года, что также расширяет возможности ее изучения с помощью относительно небольших инструментов. Наконец, высокая температуры звезды вселяет надежду, что ее удастся разглядеть в космический инфракрасный телескоп «Spitzer».

<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0510119>

Астрономия. Техника

Субмиллиметровый телескоп APEX

Летом 2005 г. начались первые научные наблюдения на субмиллиметровом телескопе APEX (Atacama Pathfinder Experiment — Пилотный эксперимент в Атакаме). Этот уникальный инструмент с диаметром рефлектора 12 м сооружен на высокогорном плато Чахнантор (Chajnantor) в пустыне Атакама на высоте 5100 м, примерно в 50 км к востоку от деревни Сан-Педро де Атакама на севере Чили¹. Одно из самых сухих

¹ ESO Press Release 18/05. 14 July 2005.



Субмиллиметровый телескоп APEX Европейской южной обсерватории в Чили.
ESO Press Photo 21/05

мест на Земле, оно считается идеальным для наблюдений на субмиллиметровых волнах, которые особенно интенсивно поглощаются атмосферными парами воды. Новый телескоп будет наблюдать в диапазоне от 0.2 до 1.5 мм — слабоизученном, но чрезвычайно интересном для астрономов: в нем лежит излучение самых далеких галактик (сдвинутое туда эффектом Доплера в расширяющейся Вселенной); на этих волнах излучают редкие молекулы межзвездного вещества; в этом же диапазоне можно увидеть процесс рождения звезд и планет, скрытый от оптических телескопов плотными слоями межзвездной пыли.

Предшественником телескопа APEX был 15-метровый телескоп SEST (Swedish-ESO Submillimetre Telescope), работавший в 1987—2003 гг. в Европейской южной обсерватории (ESO) в Ла-Силья (Чили), на высоте 2400 м. Многие годы это был единственный инструмент такого рода в Южном полушарии; с ним проводились наблюдения на волнах 0.8—3 мм, существенно расширившие наше представление о южном небе. Сейчас по соседству с новым телескопом APEX (но на меньшей высоте) сооружен еще один суб-

миллиметровый инструмент — японский 10-метровый телескоп ASTE. Сооружение таких телескопов требует использования высоких технологий: например, отклонение поверхности рефлектора от идеального парабоида не должно превышать 0.017 мм. Строительство и обслуживание такого инструмента в труднодоступном высокогорном районе требует немалого труда и средств. Работу эту совместно осуществляют Институт радиоастрономии общества Макса Планка (Германия), Космическая обсерватория Онсала (OSO) и Европейская организация по астрономическим исследованиям в Южном полушарии (ESO).

Но все это только начало, можно сказать, разведка нового места и новых технологий. Опыт строительства и эксплуатации телескопа APEX поможет в осуществлении грандиозного проекта ALMA (Atacama Large Millimeter Array — Атакамская большая составная антенна миллиметрового диапазона)². Этот синтетический инструмент, который вступит в строй к концу десятилетия там же, на плато Чахнантор, будет состоять из 64 параболических концентраторов.
² Сурдин В.Г. ALMA — крупнейший радио-телескоп // Природа. 2003. №10. С.69.

ров диаметром по 12 м каждый, разнесенных на максимальное расстояние в 14 км и объединенных оптоволоконной связью в единую систему. Таким образом, эффективный диаметр этой составной антенны приблизится к 100 м, а четкость изображения будет просто фантастической — сотая доля угловой секунды! Вместе с расположенным невдалеке европейским оптическим комплексом VLT/VLTI¹ он станет крупнейшим в мире плацдармом для астрономических исследований. Прототипом для элементов системы ALMA как раз и послужит телескоп APEX. Поскольку одиночная антенна APEX не сможет получать такого четкого изображения, как система ALMA, ее главной задачей станет субмиллиметровая спектроскопия межзвездной среды, протозвезд и сверхдалеких галактик.

© Сурдин В.Г.,

кандидат физико-математических наук
Москва

Планетология

Объект крупнее Плутона: планета или астероид?

В последние годы сообщения об открытии десятой планеты появляются примерно раз в несколько месяцев. Виной тому — постепенно раскрывающиеся перед нами глубины пояса Койпера, уже несколько обитателей которого оказались больше самого крупного астероида Главного пояса — Цереры.

Нелишне напомнить, что Церера поначалу считалась полноценной планетой Солнечной системы, хотя и очень небольшой. Позже, когда выяснилось, что в той же области пространства пролегают орбиты множества других тел, Церере лишили планетного статуса, понизив его до «малой планеты». Теперь, когда история повторяется с Плутоном, астрономов обуяла нерешительность. Уже с 1992 г. стало очевидно, что Плутон движется вокруг Солнца не в

³ Сурдин В.Г. «Портрет» Альфы Центавра // Природа. 2003. №11. С.79—80.

одиночестве, а в весьма многочисленной компании (как и Церера). Тем не менее до сих пор он считался именно планетой, а не самым крупным астероидом пояса Койпера. Это почти не вызывало затруднений, пока все обнаруживаемые за Нептуном тела уступали Плутому по размерам, но понятно было, что вопрос встанет ребром, когда в поясе Койпера будет найдено тело больше Плутона.

И вот после многократных ложных тревог, долгожданное событие, наконец, свершилось! Группа астрономов из США с помощью 1,2-метрового телескопа Паломарской обсерватории и 8-метрового телескопа «Джемини-Север» на горе Мауна-Кеа (Гавайские о-ва, США) открыла самый большой из всех известных объектов пояса Койпера, по размерам превосходящий Плутон или по крайней мере равный ему². М.Браун (M.Brown; Калифорнийский технологический институт, США), Ч.Трухильо (Ch.Trujillo, Обсерватория «Джемини», США) и Д.Рабинович (D.Rabinowitz, Йельский университет, США) впервые сфотографировали объект 21 октября 2003 г. (отсюда его обозначение 2003 UB313), но узнали об этом только в январе 2005 г., проводя повторный анализ снимков. После этого астрономы нашли старые изображения объекта в более ранних обзорах, вплоть до 1989 г., что позволило им точно определить его орбиту. Она оказалась очень вытянутой и наклонной — угол между нею и основной плоскостью Солнечной системы составляет 44°. Столь существенное наклонение орбиты — единственная причина, по которой объект не был открыт ранее; никто не искал планеты так далеко от плоскости эклиптики. В перигелии 2003 UB313 подходит к Солнцу на расстояние в 38 а.е., совершая один оборот за 557 лет. Сейчас он находится вблизи афелия (точка максимального удаления от Солнца) и отстоит от нашей звезды на 97 а.е.

К слову сказать, группа рассчитывала объявить о находке нес-

колько позже, после окончательного анализа наблюдений и подготовки научной статьи. Однако в результате стечения обстоятельств ключевые данные об объекте 2003 UB313 оказались в общедоступной части Интернета, причем, как показала проверка, эта возможность не осталась незамеченной. Браун и его коллеги испытывали реальные опасения, что их открытие будет «украдено», и решили сообщить о нем немедленно — в июле 2005 г.

Огромное расстояние до объекта 2003 UB313 делает его самым удаленным из известных тел Солнечной системы. На таком расстоянии увидеть диск планеты земным телескопам трудно, поэтому оценить ее размер можно только по видимому блеску. Звездная величина объекта — 18,9^m. Чтобы иметь такую яркость на расстоянии почти 100 а.е., он должен обладать примерно тем же диаметром, что и Плутон, даже в случае предельного предположения, что его поверхность отражает 100% падающего света. Поскольку столь высокое альbedo маловероятно, реальный размер должен быть больше. По мнению Брауна, диаметр 2003 UB313 не превышает 3000 км.

Предварительные спектры в ближнем инфракрасном диапазоне, полученные на 8-метровом телескопе «Джемини-Север», говорят о присутствии на поверхности объекта метанового льда, что неудивительно: в спектре Плутона также доминирует метановый лед. Интересно, что признаков других молекул (N₂, CO, CO₂), имеющих на Плуtone, в спектре 2003 UB313 не обнаружено.

Еще одно сходство новой планеты с Плутоном обнаружилось 10 сентября 2005 г., когда та же группа исследователей с помощью телескопа «Кек» на Гавайских о-вах определила, что рядом с 2003 UB313 есть крохотное тело. Открытие было сделано при помощи системы адаптивной оптики, недавно установленной на «Кеке». Пока о компаньоне 2003 UB313 неизвестно почти ничего. Выяснено лишь, что он следует по небу

² http://science.nasa.gov/headlines/y2005/29jul_planetx.htm

вместе с главным телом, так что по всем признакам является его спутником. Первые качественные оценки показывают, что диаметр спутника примерно в 8 раз меньше диаметра основного тела, а расстояние между ними составляет примерно 40000 км.

Ясно, что объект 2003 UB313, по крайней мере на первый взгляд, похож на Плутон и по размеру, и по составу. Из этого следует очевидный вывод: если Плутон — планета, то и 2003 UB313 должен считаться планетой. Однако не исключено, что в результате открытия этого объекта планет в Солнечной системе станет все-таки не десять, а восемь. Точное определение того, что такое планета, обсуждается сейчас рабочей группой Международного астрономического союза. После полугода дебатов группа пока не пришла к единому мнению. Дискуссия уходит корнями в тот факт, что четкого определения термина «планета» у астрономов не было никогда. По мнению Брауна, теперь оно и не может появиться, поскольку понятие планеты давно уже перешло из области науки в область культуры.

© Вибе Д.З.,

доктор физико-математических наук
Москва

Физика

Настольный синхротрон

Для исследования структуры материалов наиболее эффективны синхротроны — гигантские (периметром в сотни метров) сооружения, для доступа к которым специалистам приходится становиться в очередь. Японская Photon Production Laboratory изготовила синхротронный источник излучения «MIRRORCLE-6X» столь малого размера (диаметр его накопительного кольца 60 см), что он может поместиться в лаборатории.

Используя новую технологию инжекции электронов, установка генерирует рентгеновские лучи энергией до нескольких мегаэлектронвольт. Приемлемая цена (2.5 млн долл. США) делает новый

синхротрон доступным для многих лабораторий и частного бизнеса. Предполагается, например, что им заинтересуются производители полупроводниковых приборов и фармацевтических препаратов.

Nature. 2005. V.434. P.8 (Великобритания); http://perst.isssp.kiae.ru/Inform/perst/5_05/index.htm

Электроника

Новый материал для «умных» микросенсоров

В настоящее время многие микродатчики изготавливаются по полупроводниковой технологии, поскольку она позволяет подвергать собранные данные цифровой обработке прямо в том же чипе, в котором размещается чувствительный элемент (такая компоновка сенсора и процессора называется монолитной интеграцией). В каких бы устройствах ни использовались «интеллектуальные» датчики, они более функциональны по сравнению с традиционными, имеют лучшие характеристики (экономят объем и электрическую мощность) да к тому же дешевле в изготовлении. Однако возникает проблема объединения на одной подложке очень разных материалов.

Сейчас применяются три метода реализации монолитной интеграции: 1) сначала размещают микросенсор, а потом (обычно рядом с ним) — процессор; 2) оба устройства komponуют одновременно; 3) сначала формируют процессор, а затем над ним — микродатчик. Третий метод мог бы стать универсальным, так как существенно упрощает создание межсоединений. Однако широкого распространения он не получил, поскольку подобен погоне за двумя зайцами: необходимо подобрать хороший материал для сенсора и разработать технологию, не разрушающую уже размещенный под датчиком процессор.

Главная точка преткновения — температура. Интегральные схемы процессора нельзя нагревать выше 450°C, а для осаждения и обработ-

ки поликристаллического кремния (он наиболее широко применяется при изготовлении сенсоров) требуется $T > 800^\circ\text{C}$. Другие же используемые для датчиков материалы (которые не надо так сильно нагревать) нуждаются в деликатном обращении, поскольку не переносят механических напряжений.

И вот выяснилось, что всем этим противоречивым требованиям удовлетворяет поликристаллический SiGe. У него высокие температура плавления и модуль упругости (значительно выше 900°C и около 150 ГПа соответственно) и низкие потери энергии упругих деформаций. Используя метод химического осаждения из газовой фазы или плазмостимулированного осаждения, при температуре 450°C и скорости осаждения 100 нм/мин получали пленки SiGe толщиной 10 мкм с механическими свойствами, близкими к свойствам поликристаллического кремния: небольшим растягивающим напряжением и очень малым градиентом деформации. Такой материал по всем параметрам подходит для изготовления кинематических сенсоров, таких как гироскопы и емкостные акселерометры.

http://perst.isssp.kiae.ru/Inform/perst/5_04/index.htm

Популяционная и эволюционная генетика

В-хромосомы у млекопитающих

Добавочные (В-) хромосомы встречаются примерно у 2% видов млекопитающих. В отличие от А-хромосом, они необязательны и обнаруживают межканевую, межиндивидуальную и межпопуляционную изменчивость по числу и морфологии. Как правило, добавочные хромосомы состоят из С-гетерохроматина и включают различные повторяющиеся нуклеотидные последовательности.

В Институте экологии растений и животных РАН (Екатеринбург) изучали млекопитающих с В-хромосомами. Наибольшее чис-

Эволюционная биология

ло (до 38) таких хромосом обнаружено у копытного лемминга *Dicrostonyx torquatus*, обитающего на Чукотке. У некоторых видов в В-хромосомах выявлены рибосомальные цистроны, которые не транскрибируются, — например, у черной крысы (*Rattus rattus*) и у единичных особей восточноазиатской мыши *Apodemus peninsulae*. Однако в большинстве случаев хроматин добавочных хромосом млекопитающих сходен с повторами в перичентромерных или теломерных, а иногда и в интерстициальных районах А-хромосом.

Окрашивание В-хромосом (методом FISH) и изучение их мейоза показали, что у восточноазиатской мыши и копытного лемминга *Dicrostonyx groenlandicus* они содержат последовательности, схожие с сегментами половых хромосом. Видимо, судьба добавочных хромосом в природных популяциях млекопитающих в значительной степени зависит от баланса двух факторов — плодовитости их носителей и характера наследования. Это убедительно продемонстрировано для некоторых видов насекомых и растений. Данные для млекопитающих (их, правда, пока недостаточно) тоже не противоречат предположению о роли этих факторов. Например, у лисы и копытного лемминга В-хромосом в зародышевых клетках больше, чем в соматических. С другой стороны, копытные лемминги, отличающиеся наиболее высоким содержанием В-хроматина, имеют меньшие размеры тела и черепа, что в условиях Арктики и Субарктики должно сказываться отрицательно. У серебристо-черных лис и хомячка *Reithrodontomys megalotis* с высоким числом В-хромосом также наблюдаются селективно значимые фенотипические эффекты. Судя по всему, В-хромосомы участвуют в генетическом контроле роста и развития млекопитающих.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 02-04-49071).

© Гилева Э.А.,
доктор биологических наук
Екатеринбург

Естественный отбор усиливает изоляцию видов

Как известно, биологический вид есть совокупность популяций, представители которых способны в естественных условиях скрещиваться и производить полноценное (плодовитое и жизнеспособное) потомство и неспособны скрещиваться или оставлять полноценное потомство с представителями иных популяций. Особи одного биологического вида обмениваются генами, а разные виды репродуктивно изолированы друг от друга. Изоляция может осуществляться за счет неспособности оплодотворенной яйцеклетки развиваться в полноценную особь (*постзиготическая изоляция*) и за счет невозможности спаривания организмов или неспособности их гамет слиться (*презиготическая изоляция*).

Теоретически эти представления разработали Ф.Добржанский (1900—1975), Э.Майр (1904—2005) и ряд других эволюционистов еще в середине XX в. Тем не менее популяционные и генетические механизмы возникновения репродуктивной изоляции (и, соответственно, новых видов) до сих пор остаются предметом разногласий. Большинство авторов традиционно склонялись к тому, что видообразование — длительный процесс, происходящий за счет постепенного накопления генетических различий между популяциями, обычно пространственно изолированными. Другие полагали, что видообразование — *сальтационный* (скачкообразный, т.е. почти мгновенный) процесс, происходящий либо за счет макромутаций (т.е. генетических мутаций, приводящих к значительным перестройкам организма), либо за счет системных мутаций, скачкообразно перестраивающих хромосомный набор без изменения фенотипа. Сторонники обеих гипотез, несмотря на полярность взглядов, соглашались в одном — в том, что собственно ви-

дообразование, т.е. возникновение репродуктивной изоляции, напрямую не связано с развитием адаптаций и поэтому происходит не непосредственно благодаря естественному отбору, а по иным причинам (таким, как накопление генетических различий или макромутации). Иную точку зрения впервые высказал Добржанский в 1937 г.: естественный отбор приводит к усилению презиготической изоляции, поощряя окончательное расхождение двух будущих видов и накопление различий между ними, если гибридные особи имеют хотя бы частично пониженную жизнеспособность.

Несмотря на простоту, гипотеза усиления презиготической изоляции до недавнего времени не имела надежного эмпирического обоснования. Однако в работе В.А.Лухтанова из Санкт-Петербургского университета, Н.П.Кандула из Гарварда и их коллег эта гипотеза получила убедительные подтверждения¹ на примере нескольких десятков близких видов и подвидов бабочек-голубянок (семейство Lycaenidae) из рода *Agrodiaetus*. Вначале авторы изучили у голубянок признаки, потенциально важные для возникновения и презиготической (различия в окраске крыльев), и постзиготической изоляции (различия в хромосомных наборах, уровень генетической дивергенции). При исследовании окраски учитывались различия не только в видимой части спектра, но и в невидимом для человека, но видимом для самих бабочек ультрафиолетовом диапазоне. Затем, используя методы молекулярной филогенетики (реконструкции эволюционных связей по молекулярным признакам), они фактически реконструировали возникновение новых видов в роде.

Полученные данные свидетельствуют, что исследуемые таксоны бабочек первоначально разделились на разных участках ареала предковых видов и лишь потом вновь встретились и стали обитать совместно уже как разные

¹ Lukhtanov V.A. et al. // Nature. 2005. V.436. P.385—389.

виды. Выяснилось, что отличия хромосомных наборов постепенно накапливаются в географически удаленных популяциях, тем самым способствуя постзиготической изоляции. Несмотря на отличия в хромосомных наборах, близкородственные таксоны, обитающие аллопатрично, внешне не отличаются друг от друга. Установлено также, что переход к совместному обитанию (симпатрии) молодых сестринских (т.е. наиболее близкородственных) таксонов всегда сопровождается появлением контрастных отличий в окраске крыльев. Филогенетический анализ позволил протестировать несколько альтернативных вариантов объяснения быстрой эволюции окраски крыльев при переходе к симпатрии и показал, что она является результатом усиления презиготической изоляции. Отбор увеличивает различия в окраске, поскольку непохожий на представителя другого вида самец имеет больше шансов быть узнанным самкой своего вида и избежать невыгодного для собственного репродуктивного успеха межвидового спаривания.

Данные Лухтанова и его коллег подтверждают прямую роль естественного отбора в видообразовании у голубянок за счет усиления презиготической репродуктивной изоляции и свидетельствуют в пользу широкого распространения этого механизма видообразования в природе.

© Петров П.Н.,

кандидат биологических наук
Москва

Орнитология. Этология

Материнское воспитание влияет на половое поведение птиц

Широко известно, что среди самцов и самок разных видов птиц существуют индивидуальные различия в половом поведении, иначе говоря, в том, как они взаимодействуют с особями противоположного пола. Так, одни самцы ведут себя более агрессивно, что позволяет им успешнее конкури-

ровать с другими самцами за право обладания самкой. Другие могут отличаться более красивой песней и быть привлекательными для самок не агрессивностью, а выдающимися личными качествами. Одни самки предпочитают самцов с одним набором признаков, другие — с иным. И до сих пор не очень понятно, чем обусловлены эти различия.

Ответить на этот вопрос попыталась группа американских орнитологов во главе со специалистом в области формирования пар у птиц Т.Биркхэдом¹.

Они изучали содержащуюся в клетках популяцию зебровой амадины (*Taeniopygia guttata*). У этого представителя пернатых, широко известного любителям птиц, образовавшиеся пары сохраняются длительное время, поэтому ясно, что при выборе партнера они руководствуются не сиюминутными впечатлениями, а подходят к делу основательно. Исследователи задались целью установить происхождение индивидуальных различий в половом поведении, выбрав такие особенности, как агрессивность самца при конкуренции за самку, интенсивность пения самца при формировании пары с конкретной самкой и критерии, используемые самкой при выборе партнера. Были выдвинуты два предполагаемых механизма: генетическое наследование и социальное наследование, обусловленное воспитанием.

Для решения этой задачи экспериментаторы меняли яйца в некоторых кладках, так что в одних гнездах оказывались собственные яйца данной самки, а в других — чужой. Благодаря этому можно было установить, какие поведенческие черты наследуются генетически, а какие формируются путем наблюдения птенцов за выкармливающими их родителями. Оказалось, что все изученные исследователями признаки поведения напрямую зависели от воспитания, причем значение в этом процессе имела только самка, а на самца птенцы не обращали пристально-

¹ Birkhead T. // Evolution. 2004. V.58. №11. P.2574—2583.

го внимания. Поэтому иногда могло получаться, что самки из одного и того же выводка предпочитают неагрессивных самцов, тогда как их братья, напротив, в будущем становились агрессивными. Далее ученых привлекла идея о возможной зависимости полового поведения от того, вылупился ли птенец из яиц, отложенных по времени первыми или последними. Обычно яйца, откладываемые первыми, содержат больше белка, и поэтому птенцы оказываются более жизнеспособными. Для самцов такой зависимости обнаружить не удалось, а вот у самок выявилось интересное свойство. В эксперименте по изучению выбора самкой самца в центральную клетку помещали контрольную самку, а по периферии ставили клетки четырех самцов и наблюдали, кому из них она отдает предпочтение. Выбранным считался тот самец, у клетки которого самка проводила больше времени. Оказалось, что самки, вылупившиеся из яиц, отложенных первыми, т.е., как предполагают, более привлекательные и качественные, большую часть времени проводили у выбранного самца, а птицы из яиц, отложенных последними, распределяли свое внимание более равномерно. Возможно, они зависели в своем выборе и от внимания самца, так как не исключено, что некоторые выдающиеся самцы могли попросту пренебречь ими и оказываемым им вниманием в пользу лучших самок, которым повезло вылупиться из яиц, отложенных в первую очередь.

© Опаев А.С.

Москва

Биохимия. Медицина

Протеолиз миелина аутоантителами

Более полувека назад пионерские работы групп У.П.Дженкса и Л.Полинга впервые показали, что антитела (иммуноглобулины) не только обладают связывающими и рецепторными свойствами, но и проявляют каталитическую активность. К настоящему времени известно значительное число анти-

тел, катализирующих более 30 различных химических реакций.

Особый интерес вызывает роль каталитических антител (абзимов) в развитии различных аутоиммунных заболеваний. Спонтанное образование абзимов, специфически деградирующих собственные антигены (это явление впервые продемонстрировали С.Паул и А.Г.Габибов в начале 1990-х годов), — один из основных патогенных факторов при таких нарушениях. Исследования в этом направлении весьма перспективны как для понимания механизмов заболевания и разработки новых подходов к терапии, так и с точки зрения решения фундаментальных вопросов иммунологии.

Ранее сотрудники лаборатории биокатализа Института биорганической химии РАН под руководством А.Г.Габибова впервые показали, что в организме человека при рассеянном склерозе, а также в случае экспериментального аутоиммунного энцефаломиелита у мышей линии SJL образуются каталитические иммуноглобулины класса G, специфичные к основному белку миелина (МВР) — одному из главных компонентов оболочки нервных волокон¹. В дальнейших работах подтверждена абзиматическая природа исследуемой активности, а также получена статистически достоверная корреляция между уровнем протеолиза миелина аутоантителами и тяжестью течения рассеянного склероза.

Кроме того, измерены кинетические параметры гидролиза основного белка миелина специфичными аутоантителами, выделенными из сывороток крови пациентов с рассеянным склерозом и модельных животных. Так, каталитическая эффективность составила $1.1 \cdot 10^3$ и $3.0 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ соответственно. Эти значения свидетельствуют о возможной роли исследуемых абзимов в патогенезе заболевания. Установлено, что молекула белка расщепляется с при-

мерно одинаковой скоростью по шести основным сайтам. Пять из них расположены в иммунодоминантных участках (причем два из этих пяти — еще и в районе энцефалитогенного пептида). Исследование субстратной специфичности выделенных абзимов при помощи библиотеки рекомбинантных фрагментов миелина показало, что расщеплению подвергается преимущественно энцефалитогенный пептид МВР^{84–101}.

Обобщение накопленного экспериментального материала поможет разработке новых методов лечения и диагностики рассеянного склероза. Можно надеяться, что мы стоим на пороге заключительного, решающего этапа исследований — получения моноклональных каталитических антител к основному белку миелина.

© Белогуров Ал.А.

Москва

Экология

«Чертовы сады» поддерживаются муравьями

«Чертовыми садами» в Южной Америке называют встречающиеся в тропических дождевых лесах заросли, образованные исключительно *Duroia hirsuta* — деревьями из семейства мареновых. Существование таких «монополий» в местах, где на одном гектаре может произрастать около сотни видов древесных растений, всегда удивляло людей. По верованиям аборигенов, «сады» — порождение злого лесного духа. Ученые же полагают, что *D.hirsuta* выделяет в окружающую среду специфические вещества (продукты вторичного метаболизма), которые тормозят рост конкурирующих видов.

Однако исследования коллектива американских специалистов во главе с М.Е.Фредериксоном (М.Е.Frederickson; Станфордский университет, штат Калифорния) показали, что одновидовые заросли существуют благодаря муравьям *Myrmelachista schumanni*, которые используют в качестве убежищ полые вздутые стебли *D.bir-*

suta. В серии экспериментов по пересадке в центр «чертова сада» молодых деревьев других видов эти растения погибали от муравьиной кислоты. Насекомые прокусывали жвалами центральную жилку листа и, подогнув вперед брюшко, впрыскивали в нее содержимое своих ядовитых желез (наполненных, как показал анализ, в основном муравьиной кислотой). В течение суток в поврежденном листе развивался некроз тканей, и он отмирал. В эксперименте почти все листья пересаженных деревьев отмирали за пять дней.

Зная скорость прироста *D.hirsuta*, ученые подсчитали, что самый большой обследованный ими «чертов сад» существует уже около 800 лет, а поддерживающая его колония муравьев насчитывает около 3 млн рабочих особей и около 15 тыс. самок.

Nature. 2005. V.437. P.495–496 (Великобритания).

Экология

Рыбы и опыление наземных растений

Небольшой водоем и прилегающую к нему сушу экологи обычно трактуют как разные, достаточно изолированные друг от друга экосистемы. Связь между ними если и рассматривается, то, как правило, в терминах потоков вещества и энергии. К примеру, давно известно, что достигаемый в пруду или озере уровень развития фитопланктона определяется в значительной мере тем количеством фосфора, которое поступает с окружающей суши. Однако, как выяснила недавно Т.Найт и ее коллеги из Университета штата Флорида², трофические цепи в сообществах водных и наземных организмов могут быть связаны между собой напрямую — через животных, меняющих среду своего обитания в ходе жизненного цикла. В описанном случае такими посредниками оказались крупные стрекозы (*Anax junius* и *Ery-*

² Knight T.M., McCoy M.C., Chase J.M. et al. // Nature. 2005. V.437. P.880–883.

¹ Ponomarenko N.A., Durova O.M., Vorobiev I.I. et al. // J. Immunol. Methods. 2002. V.269. P.197–211; Idem // Dokl. Biochem. Biophys. 2004. V.395. P.120–123.

themis simplicollis), личинки которых живут в воде, а взрослые, как всем известно, — на суше. Хотя личинки стрекоз — это хищники, потребляющие всевозможных мелких водных беспозвоночных, сами они нередко становятся добычей более крупных хищников — рыб.

Найт и ее коллеги проводили свои исследования на прудах, расположенных на территории университетского заказника на севере Флориды. Они обнаружили, что около прудов, в которых есть рыбы (главным образом Centrarchidae — американские солнечные окуни), стрекоз значительно меньше, чем около тех прудов, в которых рыбы нет. Обследование самих водоемов подтвердило, что численность личинок стрекоз существенно ниже в прудах с рыбами. Последствия этой зависимости сказываются и на суше: стрекозы держатся в основном около тех водоемов, где рыб нет.

Различия в обилии стрекоз, как выяснилось, сказываются на опылении зверобоя *Hypericum fasciculatum*, заросли которого весьма обычны по берегам пруда. Дело в том, что стрекозы охотятся на основных опылителей зверобоя — перепончатокрылых (прежде всего на *Agapostemon* spp. из семейства Halictidae), а также на

некоторых крупных двукрылых. Наблюдения за частотой посещения зверобоя опылителями показали, что она значительно ниже около водоема с рыбами. Авторы не исключают также возможности избегания взрослыми стрекозами прудов с рыбами, равно как избегания перепончатокрылыми тех мест, где много стрекоз. Особенно существенная разница проявляется в отношении перепончатокрылых.

Данное исследование — кажется, первое, где количественно доказано влияние трофических взаимоотношений в сообществе водоема на систему связей в сообществе наземных организмов.

© Гиляров А.М.,
доктор биологических наук
Москва

Палеонтология

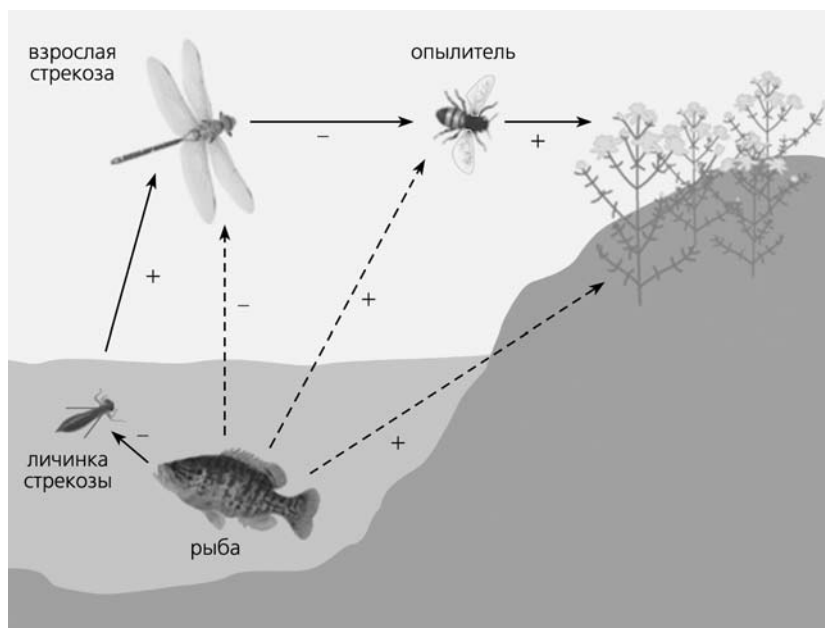
Кислород и эволюция млекопитающих

Кислород поступает в атмосферу в результате фотосинтеза и удаляется из нее посредством дыхания живых организмов, а также горения и гниения отмершей биомассы. Итоговый баланс определяется скоростью захоронения органического вещества в анаэробных условиях, о которой мож-

но судить по скорости накопления органического углерода в донных осадках.

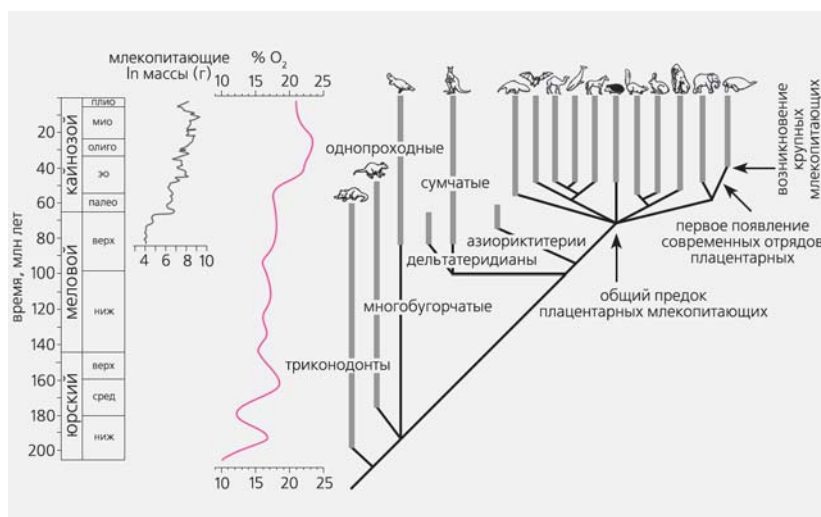
Изотопный анализ углерода в колонках грунта, полученных при бурении морского дна на материковых окраинах, позволил группе американских геологов и палеонтологов реконструировать содержание кислорода в атмосфере за весь период формирования этих донных осадков — т.е. с начала юрского периода. Для большей достоверности изотопного анализа применялись два независимых метода: углерод изучался в составе карбонатов и в захороненном органическом веществе, причем керны брались из скважин, расположенных в разных точках атлантического шельфа от Уэльса до Антарктиды. Корреляция полученных данных подтверждает реальность и глобальный характер обнаруженных изменений.

При сопоставлении кривой уровня атмосферного кислорода и важнейших этапов эволюции млекопитающих выявились любопытные хронологические совпадения. Так, становление наиболее характерных черт этого класса (теплокровность, плацентарность, увеличение размеров и морфологическая дивергенция, приведшая к формированию современных отрядов млекопитаю-



Взаимоотношения водного и наземного сообществ.

Сопоставление хронологии эволюции млекопитающих и модельной кривой изменения уровня кислорода в атмосфере за последние 205 млн лет. Жирные вертикальные линии указывают на современные и вымершие отряды млекопитающих, тонкие прямые линии — на их филогенетические связи, реконструированные по данным молекулярной генетики.



щих) было приурочено к периодам резкого повышения уровня атмосферного кислорода, и, возможно, хотя бы отчасти определялось этими изменениями. Для такого предположения есть веские физиологические аргументы.

Во-первых, плацентарный способ размножения требует высокого содержания кислорода в артериальной крови беременной самки. Плод снабжается кислородом за счет диффузии этого газа между кровяными руслами матери и плода через капилляры плаценты и существует в условиях глубокой гипоксии. Поэтому ныне ни одно плацентарное животное не может размножаться на высотах свыше 4500 м, что соответствует парциальному давлению кислорода на уровне моря в начале юрского периода (вдвое ниже современно-го). Во-вторых, хотя метеоритная катастрофа, погубившая динозавров в конце мелового периода, расчистила экологическое пространство и создала условия для адаптивной радиации плацентарных млекопитающих еще в палеоцене, быстрый рост средних размеров животных этой группы приурочен к резкому подъему содержания кислорода в середине эоцена.

Возможность укрупнения млекопитающих ограничена тем, что плотность капилляров на единицу массы мышц плацентарных млекопитающих подчинена аллометрической зависимости: она растет

как размер тела в степени 0.87, т.е. для более крупных животных условия снабжения мышц кислородом становятся более жесткими. Обширное исследование более 2000 ископаемых млекопитающих Северной Америки показало, что на протяжении всего кайнозоя размерный диапазон животных этой группы постоянно расширялся. Первый эпизод быстрого увеличения размеров от мелкого до среднего приходится на первые несколько миллионов лет после границы мел—кайнозой, хотя эта тенденция вряд ли связана с ростом содержания кислорода. Второй эпизод начался в раннем эоцене и продолжался на протяжении всего среднего эоцена (50—40 млн лет назад), за которым последовало дальнейшее, хотя и не столь драматическое, укрупнение млекопитающих на протяжении всего миоцена. Эта тенденция отражает рост уровня атмосферного кислорода, который был вызван формированием материковых шельфов и окраинных морей, а также повышением эффективности захоронения органического вещества на материковых окраинах.

Представленные данные свидетельствуют о длительной тенденции повышения уровня кислорода в атмосфере на протяжении последних 205 млн лет, в целом хорошо соответствующей трем главным аспектам эволюции позвоночных, а именно теплостро-

ности, плацентарности и увеличению размеров.

Science. 2005. V.309. №5744. P.2202—2204 (США).

Археология

Гладиаторы были актерами

По мнению американского археолога С.Така (S.Tuck; Университет штата Майами), римские гладиаторы были не бесстрашными воинами, как принято считать, а, скорее, актерами. Впрочем, такая гипотеза выдвигалась и ранее, но Так подошел к изучению этого вопроса с необычной стороны: он исследовал хранящиеся в Германии и Италии руководства по единоборствам, относящиеся к Средним векам и раннему Возрождению. Оказалось, что в то время демонстрация боевых искусств представляла собой своеобразное хореографическое зрелище, главная цель которого — произвести впечатление на публику, а не убить или ранить бойца, причем правила борьбы были сходны с гладиаторскими.

Вывод исследователя таков: уже со II в. на аренах Древнего Рима более всего ценился артистический дар сражающихся, так что убивать обладавших этим талантом гладиаторов было просто неразумно.

Sciences et Avenir. 2005. №697. P.23 (Франция).

Рецензии Шпицберген глазами норвежских исследователей

В.С.Корякин,
доктор географических наук
Москва

Книгу Хисдаля, бывшего сотрудника Норвежского полярного института, поработавшего на архипелаге 28 полевых сезонов, можно отнести к жанру научно-популярной литературы. И в то же время это достаточно серьезный обзор исследований природы и истории архипелага норвежскими учеными, представляющий интерес как для новичка, желающего составить свое мнение об этих арктических островах, так и для специалиста.

Тематический охват книги широк: местоположение и размеры, историческая геология, ландшафт, погода, свет и темнота, лед на суше и на море, растения, животные, люди на островах. Книга издана под редакцией гляциоклиматолога, участника советских исследований на архипелаге, кандидата географических наук В.А.Маркина. Он же написал послесловие, дал небольшой перечень литературы о Шпицбергене на норвежском, русском и английском языках, а также две важные обзорные карты — геологическую и ландшафтную, к сожалению, в слишком мелком масштабе — всего 1:5 млн.

Однако необходимый раздел «Местоположение и размеры» слишком скуп на информацию,

поскольку не дает представления об арктической специфике архипелага, выделяющей его среди других.

Мне самому довелось провести 11 полевых сезонов на архипелаге, поэтому могу сказать на основе собственного полярного опыта, что более интересного для исследователя архипелага в Арктике я не встречал. Это объясняется его положением в зоне арктического фронта на контакте холодных арктических и теплых атмосферных и морских течений из средних широт, что вызвало большую амплитуду природного процесса во времени и малую относительную ошибку наблюдений, а это, в свою очередь, способствовало надежности полученных выводов. Еще одна особенность архипелага — нарушение здесь широтной зональности, что, по мнению англичанина Дж.У.Тиррелла, создало настоящую загадку оледенения.

«Историческая геология», в отличие от предшествующего раздела, написана подробно (с превосходными иллюстрациями — целых 13 страниц) и богата по содержанию. В соответствии с современными представлениями, Хисдаль рассматривает особенности геологии архипелага с позиций глобальной тектоники и дрейфа континентов, несомненно, выбрав пра-



В.Хисдаль. АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН (СВАЛЬБАРД): ПРИРОДА И ИСТОРИЯ. Под ред. В.А.Маркина.

М.: Научный мир, 2005. 132 с.

вильное направление — без этого, например, невозможно объяснить наличие древних отложений с древесной флорой в современном арктическом окружении, а также признаки современного и древнего вулканизма (включая термальные источники с температурой до 30°C, с каждым годом, правда, слабеющие). Удивляться не приходится, поскольку зона спрединга с активными проявлениями вулканизма на протяжении Срединно-Атлантического хребта располагается по соседству. Автор немало внимания уделил фауне былых геологических эпох, и не случайно, потому что по наличию следов жизни в виде различных окаменелостей архипелага местами напоминает палеонтологический музей под открытым небом. И, конечно, настоящее стратиграфическое богатство, как по возрасту пород, так и по генезису, когда в дневном маршруте западнее Баренцбурга перед глазами полевого исследователя проходит практически вся геохронологическая таблица в различных своих проявлениях. Что касается ледникового периода, то здесь доктор Хисдаль, к сожалению, мало внимания уделил проблеме преемственности современного и древнего оледенения.

Не будучи геоморфологом, автор просто и доходчиво в разделе «Ландшафт» рассказал читателю об особенностях побережья, гор и фьордов, формах морозного выветривания, реках и озерах архипелага, широко используя возможности иллюстраций, как цветных, так и черно-белых. Став настоящим украшением книги, они нередко объясняют генезис форм рельефа лучше пространного текста.

Раздел «Погода» привлекает внимание не столько таблицами изменений метеоэлементов (в первую очередь температур) по месяцам, что является несомненным достоинством книги, сколько стремлением автора показать читателю динамику атмосферных процессов в этом

весьма сложном арктическом регионе. Здесь, на «стыке» тепла, поступающего из средних широт, и арктического холода, создаются местные контрасты с большими градиентами, объясняющие бурное протекание атмосферных процессов как на самом архипелаге, так и в омывающих его морях. И немудрено, если разница экстремальных значений колеблется на архипелаге в пределах от -49 до +21°C, что мне довелось испытать на себе в полевом сезоне 1979 г., когда реки буквально взревели от таяния ледников, растаявшая мерзлота сделала тундру непроходимой, а горные гребни высохли настолько, что можно было наблюдать на них пыльные бури. Само собой, на контрастах тепла и холода возникают зоны возмущений, прокладывающие дорогу циклонам с их ветрами и осадками, столь знакомые населению Шпицбергена. В Российской Арктике (на что, кстати, обратил особое внимание в предисловии к книге Маркин) эти процессы протекают уже не столь интенсивно по мере удаления на северо-восток от Северной Атлантики в глубь высоких широт, где атмосфера становится суше, холоднее и спокойней. По непонятной причине доктор Хисдаль мало уделил внимания осадкам, тем более что они во многом определяют формирование ледников, важнейшего элемента природы Шпицбергена, которые покрывают, как известно, почти две трети суши на архипелаге.

Раздел «Лед на суше и на море» особенно богат иллюстрациями, способными удовлетворить самый взыскательный вкус как художника, так и специалиста-гляциолога, демонстрируя разнообразие ледников от зачаточных каровых до типичного ледникового покрова на Северо-Восточной Земле, причем, казалось бы, в самых невероятных сочетаниях. Возникает вопрос: какой же признак является определяющим для ха-

рактеристики оледенения и как выделить, наконец, сам ледник? Для горного оледенения характерна дисперсность (разобщенность массы отдельных ледников), для покровного — консолидация массы льда воедино, когда понятия ледника и оледенения в реальности совпадают. Отсюда шаг до понимания ледника как скопления атмосферного льда с присущей ему системой движения — однонаправленной у горных и разнонаправленной (от ледораздела в противоположных направлениях) для покровов. Так что рецензируемая книга не просто содержит ценную информацию, но заставляет искать ответы на поставленные вопросы, что, увы, далеко не всегда характерно даже для научного издания.

Несомненно, на любителя природы сильное впечатление произведут разделы, посвященные животному миру и растительности, такой неброской по сравнению с более южными территориями и вместе с тем способной противостоять самым суровым условиям, сохраняя эстетическую привлекательность, ласкающую глаз взыскательного ценителя прекрасного. Сопровождающие этот раздел иллюстрации усиливают впечатление от превосходного текста.

Что касается исторического раздела, то в нем, к сожалению, нет ничего о возникновении нынешнего названия архипелага. Норвежцы (особенно представители государственной власти) предпочитают не обсуждать официальное название архипелага, ссылаясь на мнение великого Нансена, заявившего об открытии архипелага викингами в 1194 г. Это, как когда-то в нашей научной литературе ссылка на классиков марксизма-ленинизма в недавнем прошлом, прекращало саму научную дискуссию. Однако эту точку зрения не разделяли в прошлом ни В.Стефанссон, ни А.Гумбольдт. Американский историк Рамзай объясняет использова-

ние этого топонима чисто политическими причинами. В прошлом какой-то «Свальбард» (в переводе «холодный край») действительно существовал в Арктике — доктор исторических наук В.Ф.Старков, например, обнаружил его на старинных картах Гренландии XVII в.

Главное же в истории архипелага — это уроки, которые извлекает человек из своего общения с природой высоких широт, когда идея преодоления экстремальных условий Арктики, борьбы за выживание на протяжении столетий сменяется идеей сотрудничества и поз-

нания. В истории Шпицбергена этот процесс прослеживается совершенно отчетливо: сначала истребление практически всего живого на суше и на море, затем эксплуатация недр, сопровождаемая разрушением природной среды, и, наконец, переход к системе научных наблюдений, для которых Арктика создала уникальные условия, не существующие в иных широтах и на континентах. Отмечая и признавая вклад ученых разных стран в изучение природы высоких широт с развитием новейших геофизических и дистанционных направлений, ав-

тор, к сожалению, не сделал попытки оценить достоинства и недостатки различных научных школ в условиях Арктики на современном этапе, тем более что опыт самой Норвегии весьма поучителен.

Доктор Хисдаль, несмотря на небольшой объем своего труда, написал очень интересную книгу, достойную внимания российских ученых и полярников, а издательство «Научный мир», несомненно, сделало весьма полезное дело, издав ее и сделав тем самым доступной широкому кругу русскоязычных читателей. ■

Ботаника

Л.И.Лотова, А.К.Тимонин. АНАТОМИЯ КОРЫ РОЗОЦВЕТНЫХ: разнообразие, эволюция, таксономическое значение. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. 264 с.

Розоцветные (Rosaceae) — одно из крупных (более 3 тыс. видов) и наиболее известных семейств покрытосеменных растений. И хотя розоцветные — объект многочисленных исследований, до сих пор они изучены на удивление неполно: нет даже общепринятой их системы, а сосуществует несколько ее вариантов. Связано это с тем, что использование признаков, на которых традиционно основывались систематики, уже не позволяет разрешить многочисленные противоречия в их представлениях. Решить эту проблему можно было бы, используя анализ признаков вегетативных органов, в частности особен-

ности анатомии коры. Однако знания о структурном разнообразии этого сложного комплекса тканей у цветковых растений крайне фрагментарны.

В книге подробно описана анатомия первичной и вторичной коры в стеблях разного возраста у 153 видов из 86 родов из всех обычно признаваемых триб семейства Rosaceae; изучена кора как древесно-кустарниковых, так и травянистых форм. Выявлен комплекс наиболее информативных признаков первичной коры и флоэмы, описано их таксономическое значение, впервые проведен кладистический анализ анатомических признаков коры розоцветных и указаны основные эволюционные тенденции в ее структуре. Книга рассчитана не только на специалистов, дендрологов и систематиков, но может быть использована также как учебное пособие в курсах структурной ботаники.

Сейсмология

С.А.Федотов. ДОЛГОСРОЧНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ДЛЯ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ДУГИ, ОСНОВАННЫЙ НА СВОЙСТВАХ «СЕЙСМИЧЕСКИХ БРЕШЕЙ» И СЕЙСМИЧЕСКОГО ЦИКЛА. М.: Наука, 2005. 306 с.

В книге рассмотрены основные научные и практические результаты исследований по долгосрочному сейсмическому прогнозу для Курило-Камчатской дуги, проводимые на протяжении 40 лет в Институте вулканологии и сейсмологии РАН. В сборнике опубликовано 14 статей, написанных за период 1962—2002 гг., в которых приведены основы метода, разработанного автором, показаны его развитие и длительный опыт успешного использования. Полученные результаты стали обоснованием нескольких правительственных Поста-

новлений 1986—2001 гг. о подготовке Камчатской области к сильным землетрясениям. Показаны возможности дальнейшего развития этого метода, его сочетания с другими возможными методами прогноза, применения для оценки сейсмического риска и его использования в других регионах мира.

Издание предназначено для сейсмологов, специалистов в области наук о Земле и всех интересующихся прогнозом землетрясений.

Орнитология

В.Т.Бутьев, Н.И.Зубков, В.П.Иванчев и др. ПТИЦЫ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. 487 с.

Книга представляет собой очередной, шестой том серии «Птицы СССР» (название изменено на «Птицы России и сопредельных регионов») и служит непосредственным продолжением вышедшего в 1993 г. в издательстве «Наука» труда «Рябкообразные, голубеобразные, кукушкообразные, совообразные».

Приведены современные данные об ареалах, зимовках, местообитании, гнездовании, поведении, питании и других особенностях биологии 44 видов птиц отрядов совообразных, козодоеобразных, стрижеобразных, ракшеобразных и дятлообразных. Рассмотрены хозяйственное значение и проблемы охраны. Видовые очерки составлены по стандартной схеме, и изменения, внесенные в некоторых случаях, специально оговорены. Окраска птичьих нарядов дана в значительной степени по материалам авторов с использованием коллекций основных зоомузеев страны. Названия частей тела и оперения птиц, а также способы измерения приняты по «Определителю птиц СССР» (1964). Промеры

сделаны авторами в поле при отлове птиц для кольцевания, добыче и обработке, а также по музейным экземплярам. Книга снабжена цветными таблицами, картами и рисунками.

География

П.М.Борисов. МОЖЕТ ЛИ ЧЕЛОВЕК ИЗМЕНИТЬ КЛИМАТ. Под ред. акад. В.М.Котлякова. М.: Наука, 2005. 270 с.

В середине XX в. инженер и географ П.М.Борисов (1901—1973), строитель магистральных трубопроводов и других объектов нефтяной и газовой промышленности, мечтал о том, чтобы вернуть теплый климат в умеренные и полярные широты Северного полушария, построить пресные водохранилища на арктическом шельфе. В 1956 г. он предложил создать Полярный Гольфстрим, гибкий и управляемый терморегулятор климата. Суть его проекта заключалась в том, что благодаря постройке плотины в Беринговом проливе проток теплых атлантических вод через Арктический бассейн в Тихий океан приведет к таянию ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и, в конечном счете, обеспечит сдвиг всех природных зон к северу, т.е. «улучшит» климат всей северной части Евразии и, вероятно, также и Северной Америки.

Этот проект нес яркий отпечаток своего времени. Он был пронизан духом великих строек, стремлением активно вмешиваться в природные процессы, будь то недостаточность солнечного тепла в Сибири или низкое плодородие таежной зоны. С тех пор многое переменилось, и в том числе отношение к грандиозным планам преобразования природы. Однако проект Борисова, человека высоких устремлений, талантливого инженера, уже в конце жизни попытавшегося постичь

географические премудрости, чтобы научно обосновать проект своей жизни, остался памятником нашей культуры.

Геология

Г.Ф.Уфимцев. ГИМАЛАЙСКАЯ ТЕТРАДЬ: Очерки морфотектоники и геоморфологии Евразии. Отв. ред. Д.А.Тимофеев. М.: Научный мир, 2005. 303 с.

В феврале 2000 г. автор посетил Непал и совершил в этой стране несколько самостоятельных поездок, поработал в библиотеке с малодоступными у нас изданиями. Интерес к этой удивительной стране с ее культурой и традициями, к Гималаям с тех пор постоянно подогревался знакомством с популярными географическими изданиями, отчетами альпинистских экспедиций. Из поездки в Непал автор привез «Гималайские тетради» и глубокую увлеченность геоморфологией и морфотектоникой Тибет-Гималайского горного сооружения. Стимулом стало приобретение отечественных топографических карт разных масштабов на этот регион, что позволило осуществить картографический анализ в полном объеме и достаточно подробно.

В книге описывается геоморфология и новейшая тектоника различных частей Евразии: Непальских Гималаев и Тибет-Гималаев, Байкальской рифтовой зоны и великих платформенных равнин, переходной зоны от континента к океану, а также памятные геоморфологические ландшафты. Особое внимание уделено проблемам нового научного направления — эстетической геоморфологии.

Содержание книги в равной степени опирается на кабинетные исследования (морфометрический анализ топографических карт) и на увиденное в путешествиях. Автор дает в качестве иллюстраций карты, схемы и путевые зарисовки.

Борис Бахметев — посол, мечтатель, ученый

В.П.Борисов,

доктор технических наук

*Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва*

Имя Бориса Александровича Бахметева (1880—1951), крупного ученого в области гидравлики, автора работ, получивших высокую оценку научного сообщества, хорошо известно благодаря его деятельности в качестве посла Временного правительства России в США, основателя Бахметевского фонда и Бахметевского архива.

Многое в его жизни было и неожиданным, и нелогичным. В апреле 1917 г. неожиданным для 36-летнего профессора Петербургского политехнического института стало предложение занять пост чрезвычайного и полномочного посла России в США. Столь же нелогичным было оставаться в должности посла Временного правительства, когда надежды на скорое падение власти большевиков не оправдались. И уже покидая кресло посла, вряд ли сам Бахметев ожидал в дальнейшем стать удачливым бизнесменом, признанным лидером среди американских ученых в области гидравлики.

Будущий профессор и политический деятель родился 1 мая (по другим сведениям, 20 июля) 1880 г. в Тифлисе. По окончании с золотой медалью 1-й тифлисской гимназии в 1898 г. Бах-

метев поступил в Петербургский институт инженеров путей сообщения, где в 1902 г. завершил курс обучения, получив диплом инженера. Годы, проведенные в высшей школе, дали Бахметеву не только профессиональную подготовку.

«Мы покидали наши родные города политически наивными, — писал он в воспоминаниях. — Однако в атмосфере университета, проникнутой политическими ожиданиями и размышлениями, быстро становились революционерами по духу, а иногда и по делам. <...> Гуманистический элемент был очень силен, и я не могу себе представить, что в то время кто-нибудь в возрасте 20 или 23 лет не был своего рода социалистом» [1. С.27].

Идеи социал-демократического движения одно время всерьез занимали Бахметева: он вступил в РСДРП и даже был избран делегатом от фракции меньшевиков на IV съезд партии (1906). Впрочем, работа по специальности требовала все большего времени, и постепенно он отошел от активного участия в партийной жизни.

Научная и практическая деятельность Бахметева началась в 1903 г. с двухгодичной командировки в Западную Европу и США с целью ознакомления с иностранными достижениями

в области гидравлики, гидроэлектрических устройств и гидротехнических сооружений. Первый год своей заграничной поездки он изучал гидравлику в Цюрихском политехническом институте, а на второй год получил возможность ознакомиться с системой проектирования гидроэлектрических устройств на реке Теннесси близ города Чаттануга (США).

В сентябре 1905 г. Бахметев начал работу в должности старшего лаборанта по кафедре гидравлики Политехнического института, а уже спустя два года преподавал курсы «Гидротехнические сооружения» и «Гидравлика» на электромеханическом и инженерно-строительном отделениях института. Одновременно он организовал частную фирму, которая занималась практической работой по составлению проектов гидротехнических сооружений. По проектам Бахметева были построены гидроэлектрические установки Уральского электрометаллургического товарищества на р.Сатке и лесопильного завода Родзянко на р.Веретня. Были составлены также проекты: утилизации водных сил водопадов р.Суны (по заказу военного ведомства), р.Белой для «Майкопского товарищества электроэнергии», порожистой части Северной Двины, — как в плане

утилизации водных сил, так и приведения данного участка в судоходное состояние [2].

Особо нужно сказать о широкомасштабном проекте, для осуществления которого была создана специальная компания, где Бахметев стал главным инженером. Компания подготовила проект строительства большой гидроэлектростанции на Днепре, реализации которого помешали последовавшие вскоре социально-политические события. Своего рода воплощением в жизнь планов Бахметева стал построенный уже в советское время ДнепрогЭС. Отдавая должное размаху работ этого детища строительства социализма, в своих воспоминаниях Борис Александрович отмечал, что в случае успеха его проекта затраты были бы на порядок меньше, при этом не требовалось переселять деревни и затапливать кладбища.

В 1907 г. вышел в свет первый печатный труд Бахметева «Современные гидроэлектрические устройства», содержащий описание новейших достижений в этой области. За работу «О неравномерном движении жидкости в открытом русле» в октябре 1912 г. Бахметев был удостоен звания адъюнкта прикладной механики, а в декабре того же года по представлению ряда ведущих ученых (В.Л.Кирпичева, И.В.Мещерского и др.) был избран экстраординарным профессором.

В 1914 г. Бахметев разработал общий метод интегрирования уравнения неравномерного движения, позволяющий рассчитывать движение водотоков различного сечения. Тогда же собранием акционеров «Петроградского общества электропередач силы водопадов» Бахметев был избран членом правления общества. Спустя два года в Санкт-Петербурге вышла его работа «К вопросу о расчете перепадов. О формах сопряжения ниспадающей с водослива струи с уровнем нижнего бьефа», ставшая практически пособием



Перед строем почетного караула. Б.А.Бахметев (крайний справа). Вашингтон. 1917 г.

для нескольких поколений инженеров.

С началом Первой мировой войны значительное место в жизни Бахметева стала занимать общественно-политическая деятельность. В 1915 г. он включился в работу Международного Красного Креста, затем был привлечен к деятельности Военно-промышленного комитета России с целью организации поставок из США военного и прочего снаряжения для российской армии. В марте 1917-го деятельный профессор Петербургского политехнического института назначается товарищем (заместителем) министра торговли и промышленности Временного правительства, а спустя всего лишь полтора месяца на него возлагается миссия посла России в США. В этом статусе Бахметев прибыл в Вашингтон 20 июня 1917 г.

Уже 23 июня новый посол России выступил с речью в палате представителей Конгресса, а 26-го — в Сенате США. Его выступления были встречены слушателями с большим энтузиазмом. Бахметев публично подтвердил обязательство Вре-

менного правительства продолжать войну против Германии и ее союзников, что было очень важным для американцев.

«Когда я сказал: ни при каких обстоятельствах мое правительство не заключит сепаратный мир, — вспоминал Бахметев позже, — вся палата разразилась аплодисментами. Я никогда не слышал такой овации за всю свою жизнь» [1. С.39].

Многочисленные последующие речи, произнесенные Бахметевым в США до октябрьских событий в России, также были проникнуты духом оптимизма, уверенностью в том, что Временное правительство дееспособно, а российское общество последовательно идет по пути демократизации.

«Россия, великая демократия Востока, — говорил он, выступая в Бостоне, — встанет рука об руку с ее старшей сестрой, великой демократией Запада, чтобы пронести по всему миру высокие идеалы гуманизма, свободы и справедливости» [1. С.101–102].

Бахметев словно не замечал или не хотел замечать, что Россия охвачена экономическим

Встречи с Бахметевым



1920-е годы.

Встречи с забытым

и политическим кризисом, что в Петрограде проходят антивоенные демонстрации, а в армии ширится процесс распада. Этот факт дал основания некоторым политикам обвинить Бахметева в том, что своими речами он вводил в заблуждение американское общество. Правительство США в тот период согласилось предоставить России финансовую помощь — 325 млн долл., и заверения русского посла должны были поддержать уверенность в том, что кредиты тратятся не напрасно.

Подобные соображения вряд ли могут служить объяснением основных мотивов деятельности Бахметева в 1917 г. Его выступления производили впечатление на слушателей благодаря убежденности, с которой оратор говорил о будущих преобразованиях в России, направленных на установление демократии, свободы, права собственности. Эту убежденность Бахметев сохранял и после того, как к власти в России пришли большевики.

«Я бесконечно верю в Россию, — писал он в сентябре 1921 г. последнему председателю

Думы М.В.Родзянко. — Свое вдохновение я черпаю в ее истории. <...> На протяжении 10-и веков история нас била и пытала; но мы неуклонно развивались и через все испытания русский народ пронес свою религию, свой язык и свою культуру. Мое долговременное пребывание в Америке показало мне многое, чего нельзя понять, живя в России или в Европе; показало мне лабораторию и фабрику народного творчества, и это меня укрепило лишь еще более в моей вере» [1. С.101—102].

Поскольку США не торопились признавать правительство большевиков, Бахметев продолжал занимать должность посла в течение пяти лет. Свой статус он неоднократно использовал, чтобы поддерживать соотечественников, покинувших Россию после октябрьского переворота. Новые русские эмигранты, включая выдающихся деятелей науки — В.К.Зворыкина, И.И.Сикорского, С.П.Тимошенко, на всю жизнь сохранили благодарность ему за помощь с устройством в США. Важным результатом деятельности Бахметева стало создание Российского гуманитарного фонда в США, который он возглавлял много лет; кроме того, он был директором Фонда помощи российским студентам.

В течение долгого времени Бахметев «продолжал оставаться центральной фигурой в Русской эмиграции в Америке, — писал известный социолог Н.С.Тимашев. Он никогда не делал политических выступлений, но авторитетом своего опыта и мудрости часто влиял на тех, кто такие выступления делал. Но, главное, — он за короткое время своего посольства сумел приобрести большое влияние в высоких сферах Америки и сохранил его и после того, как свое официальное положение потерял. В значительной мере благодаря этому влиянию Соединенные Штаты признали советское правительство на десять лет позже, нежели великие державы Западной Европы. Ему уда-

лось вселить в эти сферы мысль различать между советской властью и русским народом. <...> Он помогал русским общественным организациям, служившим, по его мнению, благородным целям, но не находящим нужных средств. Он умел твердо и беспрекословно отказывать — для того, чтобы сохранить средства на более важное и полезное. При этом он никогда не руководствовался партийными ярлыками или личными симпатиями: русское дело и его интерес были для него всегда высшим критерием в решениях» [3].

В 1922 г. Бахметев прекратил работу в качестве посла и принял решение вернуться к научно-инженерной работе. На следующий год он открыл в Нью-Йорке консультационную фирму по вопросам проектирования гидравлических систем. Заказчиков было немного, и Бахметев решил попробовать себя в более активном бизнесе. Вместе с несколькими компаньонами он создал компанию «Lion Match Factory» для выпуска спичек. Благодаря активной деятельности и расширению производства, принадлежащая компаньонам фабрика стала одной из ведущих в США по изготовлению спичек.

Успешный бизнес приносил большой доход, что позволило Бахметеву, как председателю совета компании «Lion Match Factory», направлять значительные средства для проведения акций Гуманитарного фонда, в помощь русскому детскому дому и русской гимназии и т.п. Сам Бахметев получил, наконец, возможность посвятить себя научным исследованиям в лаборатории гидравлики Колумбийского университета в Нью-Йорке. В этом же университете с 1931 г. и до конца жизни он возглавлял кафедру гражданского строительства.

Бахметев внес свой вклад в развитие «новой гидравлики», в числе первых применив в этой области достижения и методы аэродинамики, что расши-

рило горизонты в развитии науки о течении жидкости. Его монография «Механика турбулентного движения» (1936) была переведена на несколько иностранных языков, а автора наградили Большой медалью Общества дипломированных инженеров Франции. Научный авторитет бывшего посла был общепризнанным: как отмечал не без гордости Бахметев, американские специалисты по гидравлике стали называть его своим «деканом». Один из шкафов его нью-йоркской квартиры украшала коллекция дипломов американских и иностранных научных обществ, избравших Бориса Александровича своим членом.

В отличие от многих других ученых-эмигрантов, Бахметев не был забыт и на родине. В 1928 г. в Ленинграде была издана его книга «О неравномерном движении жидкости в открытом русле». В предисловии «от редакции» отмечалось: «Редко кто за десять лет своей научной деятельности может оставить такие блестящие результаты, как профессор Борис Александрович Бахметев. По природе своей — чрезвычайно живой и деятельный, он представлял собою удивительное сочетание превосходного инженера и высокоталантливого профессора. <...> Энтузиаст в деле пропаганды постройки гидроэлектрических станций, он предвидел чрезвычайное значение электрификации и еще с 1906 года читал — впервые в России — курс утилизации водных сил (на электромеханическом факультете Петербургского политехнического института). Он принимал активное участие во всех современных ему проектах по утилизации гидравлической энергии и является выдающимся пионером в деле пропаганды идеи электрификации России. Своей профессорской деятельностью в Петербургском политехническом институте и Институте путей сообщения он создал целую школу учеников, спе-



Здание российского посольства в Вашингтоне.

циалистов в области гидравлики и гидротехники. Данная книга — работа, опубликованная в «Известиях С.-Петербургского политехнического института» за 1911 год, опередила свое время и может быть оценена по достоинству лишь теперь» [4].

Спустя год в Ленинграде вышла еще одна монография Бахметева «О равномерном движении жидкости в каналах и трубах». В предисловии отмечалось, что публикуемая работа была написана автором еще

в 1916 г., но «по целому ряду непредвиденных обстоятельств» не могла появиться в печати ранее. Узнать, в чем заключались «непредвиденные обстоятельства» и кем является автор книги в настоящее время, было трудно, поскольку биографические сведения о Бахметеве в советских энциклопедиях и справочниках отсутствовали. Публикации, освещающие его жизнь и деятельность, включая период эмиграции, появились лишь в 1990-х годах [5, 6].

Накануне 70-летия Бахметева в США вышел сборник, написанный в его честь 14 ведущими американскими специалистами в области гидравлики и прикладной механики. Это был замечательный подарок для Бориса Александровича, подчеркивавшего, что главным итогом своей работы в США он считает «вклад в развитие инженерного дела». Как отмечал нью-йоркский «Новый журнал», в этот период жизни «к русской эмигрантской по-

литике он [Бахметев. — В.В.] особого вкуса не имел и относился к ней с некоторым, может быть, преувеличенным скептицизмом» [7]. При этом мысли о России не оставляли Бахметева на протяжении всей жизни, свидетельством чего стала его переписка с В.А.Маклаковым — более 270 писем с 1919 по 1951 г.

Борис Александрович скончался в Нью-Йорке 21 июля 1951 г. В последний год жизни он любил проводить время, лю-

буясь своей коллекцией произведений живописи, значительную часть которой составляли полотна русских художников и православные иконы.

Данью памяти политику, общественному деятелю и ученому стали названные его именем Бахметевский Гуманитарный Фонд и созданный при Колумбийском университете Бахметевский архив российской и восточноевропейской истории и культуры. ■

Литература

1. Будницкий О.В. Послы несуществующей страны // Совершенно лично и доверительно! Б.А.Бахметев — В.А.Маклаков. Переписка. Т.1. М., 2001.
2. Российский государственный исторический архив. Ф.25. Оп.1. Д.295. Л.6—7.
3. Тимашев Н.С. Б.А.Бахметев // Возрождение: Литературно-политические тетради. Paris, 1952. Тетрадь 19. С.199—200.
4. Бахметев Б.А. О неравномерном движении жидкости в открытом русле. Л., 1928.
5. Борисов В.П. Бахметев Борис Александрович // Русское Зарубежье. Золотая книга эмиграции. М., 1997.
6. Борисов В.П., Волков А.В. Б.А.Бахметев — ученый и общественный деятель (новые документы) // Русская культура XX века на родине и в эмиграции. Вып.2. М., 2002.
7. Памяти Бахметева // Новый журнал. Нью-Йорк. 1951. №26. С.254.

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: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.02.2006
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 1128
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6