

ежемесячный научно-информационный журнал

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

№10 2008

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ ТАНЦА

Откуда берется чувство ритма

КВАНТОВАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Простой способ создания
пространства-времени

ЭФФЕКТ ЛОТОСА

Революционная
технология
самоочистки
материалов

БЕЛКИ-ТЕЛОХРАНИТЕЛИ

Защита от стресса... и от рака



ISSN 0208-0621

08010



9 770208 062001

>

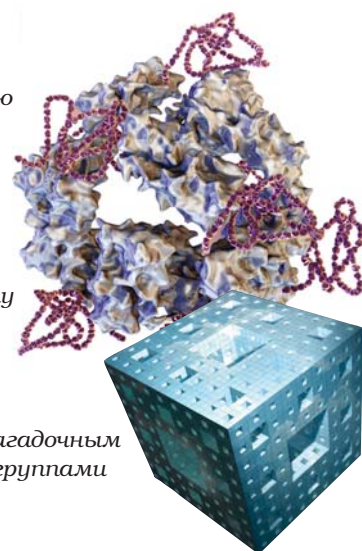
www.sciam.ru

содержание

ОКТАБРЬ 2008

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- ФИЗИКА**
16 САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ КВАНТОВАЯ ВСЕЛЕННАЯ
Ян Амбьорн, Рената Лолл и Ежи Юркевич
Новый подход к проблеме квантовой гравитации возвращает нас к основам и показывает, как складываются «кирпичики», из которых построены пространство и время
- БИОЛОГИЯ МОЗГА**
26 НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ ТАНЦА
Стивен Браун и Лоренс Парсонс
Согласно томографическим исследованиям танцоров, за нашей способностью танцевать скрывается сложнейшая нейронная хореография
- МЕДИЦИНА**
32 НОВЫЕ ФУНКЦИИ ДРЕВНИХ ШАПЕРОНОВ
Прамод Шривастава
Белки теплового шока, или шапероны, не только защищают организм от стрессов, но и влияют на канцерогенез и активируют иммунную систему
- ИГРЫ С ЧИСЛАМИ**
38 ВО ЧТО ИГРАЮТ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ?
Игорь Криз и Пол Сигел
Новое поколение головоломок дает всем желающим шанс познакомиться с загадочным миром математических объектов, называемых простыми спорадическими группами
- ИННОВАЦИИ**
44 РУКИ НА КОМПЬЮТЕРНОМ ЭКРАНЕ
Стюарт Браун
Экраны дисплеев, реагирующие на несколько одновременных прикосновений, могут повысить эффективность коллективной работы без помощи мыши и клавиатуры
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**
48 САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ МАТЕРИАЛЫ
Питер Форбс
Удивительная способность лотоса отталкивать грязь подвигла специалистов к созданию ряда технологий самоочищения
- СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО**
56 БЕСПАХОТНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ: ТИХАЯ РЕВОЛЮЦИЯ
Джон Риганолд и Дэвид Хаггинс
Вековая практика перепахивания земли — основная причина деградации сельхозугодий
- МОНИТОРИНГ**
64 КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯМАЛА
Юрий Баранов, Екатерина Денисевич, Юрий Кантемиров и Сергей Кулапов
Для обеспечения безопасности разработки газовых месторождений полуострова Ямал необходимы изучение и регулярный мониторинг природных и техногенных процессов
- ГЕОЛОГИЯ**
68 ГРУЗИЯ: МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА И РУДНАЯ БАЗА
Давид Купарадзе и Дмитрий Патаридзе
Предки грузин были искусными мастерами металла — сначала меди, потом бронзы, а затем и железа



Учредитель и издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица

Заместители главного редактора: А.Ю. Мостинская
О.И. Стрельцова

Зав. отделом естественных наук: В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских исследований: Ю.Г. Юшквичюте

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Корреспонденты: Е.В. Кокурин, Д.А. Мисюров

Над номером работали:

Ю.Б. Баранов, А.Н. Божко, А.А. Гендин, Е.В. Денисевич,
А.Р. Кадырова, Ю.И. Кантемиров, Д.М. Кулапов,
Д.М. Куларадзе, Д.В. Патаридзе, А.И. Прокопенко,
И.П. Прошкина, И.Е. Сацевич, О.В. Сеньков, Д.С. Хованский,
П.П. Худолей, Б.В. Чернышев, Н.Н. Шафрановская

Научные консультанты:

Кандидат физико-математических наук Б.А. Квасов,
главный архитектор ОАО «Метрогипротранс»
Н.И. Шумаков

Арт-директор: Л.П. Рочева

Корректур: Я.Т. Лебедева

Генеральный директор
ЗАО «В мире науки»: О.А. Василенко

Главный бухгалтер: Н.М. Воронина

Бухгалтер: О.В. Гузий

Отдел распространения, подписка: М.К. Бирюкова
Л.В. Леонтьева

Адрес редакции и издателя:

105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409

Телефон: (495) 727-35-30, тел./факс: (495) 925-03-72

e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

В верстке использованы шрифты Helios и BookmanC

Отпечатано:

ООО ИД «Медиа-Пресса», 127147, Москва, ул. Правды, д. 24.

Заказ № 82170

© В МИРЕ НАУКИ

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

ЗАО «В мире науки» входит в состав Гильдии издателей периодической печати

Тираж: 11 600 экземпляров

Цена договорная.

Переписка текстов и иллюстраций только с письменного согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Editor in Chief: John Rennie

Editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Peter Brown,
Graham P. Collins, Mark Fichetti, Steve Mirsky,
George Musser, Christine Soares

Chief news Editor: Philip M. Yam

Contributing editors: Marguerite Holloway,
Michelle Press, Michael Shermer,
Sarah Simpson, W. Wayt Gibbs

Chairman: Brian Napack

President: Steven Yee

Vice President and managing director,
international: Dean Sanderson

Vice President: Frances Newburg

Chairman emeritus: John J. Hanley

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandon

© 2007 by Scientific American, Inc.

Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

РАЗДЕЛЫ:

ОТ РЕДАКЦИИ МОЗГ И ТАНЕЦ

3

4

50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

6

СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

- Когда шум — не помеха
- Есть ли связь между молоком и диабетом?
- Страдающие от боли
- «Миры» исследуют озеро Байкал
- Раковый союз
- Древние гены — новые возможности
- Мозговой штурм

ПРОФИЛЬ

14

В ЛАДУ С БАКТЕРИЯМИ

Мелинда Уэннер

Бактерии, обитающие в организме человека, образуют множество веществ, которые содержат информацию о состоянии здоровья

ТЕХНИЧЕСКИЕ НЮАНСЫ

74

МОСКОВСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН: ОБРАЗЫ И СМЫСЛЫ ЭПОХ

Дмитрий Мисюров

Московский метрополитен — достижение науки и техники. Как создавалась столичная подземка?

ЗНАНИЕ — СИЛА

78

МАНЕВРЕННЫЕ ПЛАВУЧИЕ ДВОРЦЫ

Марк Фишетти

Как огромные круизные суда могут изящно поворачиваться на месте вокруг себя и даже двигаться боком?

ИНТЕРВЬЮ

80

МОЗГ — ЭТО ГИПЕРСЛОЖНЫЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ТРАНСЛЯТОР, ИЛИ ПАРИЖСКИЙ РАЗГОВОР С ЮРИЕМ БУЖАКИ

Олег Сеньков

Один из самых цитируемых авторов научных работ рассказывает о своих последних исследованиях

ЛАБОРАТОРИЯ ВКУСА

90

ПРОБКА ВСЕМУ ГОЛОВА? ЧЕМ ЛУЧШЕ УКУПОРИТЬ БУТЫЛКУ

Анатолий Гендин

Погружаясь в нюансы вкуса и наслаждаясь ароматом вина, мы забываем о важной роли пробки

ОБЗОРЫ:

84

КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

88

ФОРУМЫ, ПРЕМИИ, ВЫСТАВКИ

94

СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ

КАК ВНЕШНИЙ ВИД И ЗАПАХ ПИЩИ ВЛИЯЮТ НА ВОСПРИЯТИЕ ЕЕ ВКУСА?

МОЗГ И танец

Позитронно-эмиссионный томограф и его роль в танцевальной революции

Люди обладают врожденной способностью танцевать. Даже маленькие дети начинают подпрыгивать и раскачиваться, услышав любимую музыку. Танец свойственен всем культурам мира и его часто наделяют огромным, иногда даже магическим значением. Видимо, наша тяга к Терпсихоре есть продолжение общего стремления к музыке, которое само по себе представляется эволюционной загадкой. Почему у нас так развиты музыкальные способности, если они не имеют никакой очевидной ценности для выживания? Однако некоторые виды певчих птиц и других животных реагируют на музыку. Как замечают Стивен Браун и Лоренс Парсонс в своей статье «Нейрофизиология танца», стремление связывать ритмические движения с музыкой представляется уникальным. Нельзя сказать, что люди превосходят животных так же, как Фред Астер затмевал других танцоров, ибо кроме нас на танцплощадке просто больше никого нет.

Астер всегда двигался грациозно, из-за чего казалось, будто танцевать ему легко (такое же впечатление производила и его партнерша Джинджер Роджерс, повторявшая каждое его движение, но перемещавшаяся при этом на каблуках спиной вперед). На самом деле управлять своим телом в пространстве точно, ритмично и выразительно, да еще и удерживать при этом равновесие, чрезвычайно трудно. Лишь немногие из нас смогли бы соперничать с профессиональными танцорами, однако все искусство танца существует в пределах наших физических способностей, заложенных природой. Работающие при этом нервные цепочки тянутся от глубоких структур мозга до коры больших полушарий, как выяснили Браун и Парсонс путем томографического сканирования мозга танцоров.

Одна интригующая деталь данного исследования указывает на то, что при танце активируется двойник центра речи, располагающийся в правом полушарии. Работа ученых показала, что выражение «язык танца» — не просто метафора. Возможно, движение представляло собой некую форму языка, или по крайней мере коммуникации, существовав-

шую задолго до того, как наши предки впервые заговорили вслух. Общество медленно привыкало к этой мысли, однако сообщества глухих уже давно отстаивали сходную идею и вели борьбу за то, чтобы их жестовое общение признали полноценным языком.

Очевидно, что для нас жесты — самый ясный и непосредственный способ общения друг с другом. Однако сконструированные нами машины жестов не понимают. Многообещающая область современных исследований интерфейса между человеком и компьютером состоит в том, чтобы научить компьютеры понимать жесты, и одним из направлений практического применения данной работы стало создание экранов для телефонов и других устройств, чувствительных к нескольким прикосновениям одновременно. Пользователи могут сжимать, растягивать, поворачивать и по-иному манипулировать изображениями с помощью щипков, щелчков и других интуитивно понятных движений пальцами по экрану. Журналист Стюарт Браун описывает работу этих устройств в статье «Руки на компьютерном экране». ■



■ ЭНЕРГИЯ ЗВЕЗДЫ ■ БОРЬБА С УГОНЩИКАМИ ■ ПАРОВОЙ ПЛУГ ■

ОКТАБРЬ 1958

СИНТЕЗ. «На второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве, состоявшейся в прошлом месяце, в центре внимания были реакции синтеза. Сложные вопросы и серьезные проблемы объекта исследования вызвали большое количество официальных и неформальных дискуссий. Отличное экспериментальное оборудование, продемонстрированное Великобританией, США и Россией, свидетельствует о широком спектре программ, осуществляемых ведущими ядерными державами до последнего времени в режиме секретности. Среди достижений США, впервые обнародованных в Женеве, — стелларатор. Прибор создан в Принстонском университете в рамках проекта «Маттерхорн» и воплощает то, что мы узнали в процессе теоретических исследований и экспериментов, проводившихся с 1951 г.» — Лайман Спитцер-младший.

ОКТАБРЬ 1908

АВТОВОРЫ. Устройство для блокировки автомобиля, одновременно простое и надежно защищающее от угона, — изобретение, о котором мечтают водители. Удивительно то, что подобный прибор еще не включен в стандартный комплект оборудования некоторых марок машин. Возможно, в некоторых городах автомобилисту достаточно вынимать заводную рукоятку или свечу зажигания, чтобы оградить себя от воровства, но угонщики очень часто оказываются работниками фабрик, и за последнее время уже было несколько случаев, когда вор сам и был поставщиком свеч зажигания.

ЧИТАТЕЛЬ-БОТАНИК. Мистер Брайсман (Bruysman), наш подписчик из Нонго-Джаджар, неподалеку от городка Лаванг, о. Ява, прислал нам интересную информацию об экспериментальном ботаническом саде, который он устроил на высоте 1,2 тыс. м. По его словам, климат там идеален. Даже влажный сезон, длящийся с ноября по апрель, не столь неприятен, несмотря на ежедневные дожди. Мистер Брайсман выращивает сотни видов тропических, европейских, азиатских, американских и австралийских растений. Его цель — собрать лекарственные, декоративные и полезные растения со всех частей света. С мистером Брайсманом сотрудничают многие ботаники, и он обращается

к читателям журнала с просьбой помочь ему в его работе, присылая семена и образцы.

ЕГИПЕТСКАЯ НАХОДКА. Профессор Генри Осборн (Henry F. Osborn), руководитель экспедиции Американского музея естественной истории в Фаюмский оазис в Египте, сейчас собирается представить публике одну из самых важных и значительных находок — череп гигантского арсинойтерия, удивительного наземного млекопитающего древней Африки. Главная особенность облика арсинойтерия — пара длинных, заостренных на конце носовых рогов, выдававшихся вперед и вверх более чем на полметра: орудие крайне опасное и вместе с тем фантастическое. Яркая и реалистичная реконструкция внешнего вида этого гиганта — на рисунке мистера Чарлза Найта (Charles R. Knight).



АРСИНОЙТЕРИЙ, вымершее млекопитающее эпохи эоцена, рисунок 1908 г.

ОКТАБРЬ 1858

ЕДКИЙ ВОЗДУХ. Домохозяйки несомненно будут благодарны нам за информацию, что черный сульфид серебра, образующийся на посеребренных и серебряных изделиях, дверных табличках и ручках, можно легко и быстро удалить, протерев поверхность очень слабым раствором аммиака. Почернение вовсе не обозначает того, что серебро не чистопробное: налет одинаково быстро возникает как на беспримесном металле, так и на его сплаве с медью. Причина, в частности, в том, что после

дождя из почвы наших улиц выделяется большое количество сероводорода.

ДЕШЕВОЕ ТОПЛИВО. Похоже, что «железный конь» малопомалу начинает привлекать к себе внимание фермеров как средство вспахивания земли. Королевское сельскохозяйственное общество Англии недавно присудило премию размером \$2,5 тыс. мистеру Фаулеру (H. Fowler) за создание парового плуга. Механизм оснащен стационарным двигателем, а для того чтобы тянуть сошники по бороздам, используются тросы. Мистер Джон Джозеф Мечи (John Joseph Meci), знаменитый английский фермер, использует такой плуг и подтверждает, что обработка земли стала гораздо качественнее: урожай пшеницы вырос на восемь бушелей с акра. По сравнению со вспашкой на лошадях экономия составляет одну четверть. Совершенно очевидно, что через 20 лет (если топлива будет достаточно, и оно будет дешевым) паровые плуги станут обычным делом в наших обширных прериях. ■

ВЫШЕЛ ИЗ ПЕЧАТИ ОЧЕРЕДНОЙ НОМЕР ЖУРНАЛА «НАУКА И ЖИЗНЬ»

ТЕМАТИКА СТАТЕЙ НОМЕРА, КАК ВСЕГДА, ШИРОКА И РАЗНООБРАЗНА

Во всем цивилизованном мире одна из величайших проблем — снижение рождаемости. Детей рождается мало, но и у них все чаще встречаются пороки развития, хронические заболевания. Среди причин такого положения — нехватка витаминов при беременности. Точный витаминный рацион будущей маме подскажет врач. Однако узнать, как витамины влияют на будущее потомство, бесполезно всем.

Ст. «Здоровье до рождения. Важнейшие аспекты»

Прошло без малого сто лет с того момента, как были открыты космические лучи — потоки заряженных частиц, приходящих из глубин Вселенной. С тех пор сделано много открытий, связанных с космическими излучениями, но и загадок остается немало. Одна из них, возможно, наиболее интригующая: откуда берутся частицы с энергией более 1020 эВ, то есть почти миллиард триллионов электронвольт, в миллион раз большей, чем та, что будет получена в мощнейшем ускорителе — Большом адронном коллайдере? Какие силы и поля разгоняют частицы до таких чудовищных энергий?

Ст. «Космические лучи самых высоких энергий»

Английский журнал «Нью сайентист» опубликовал список недостатков конструкции человеческого тела. В списке в основном такие дефекты, которые не видны простым глазом, но очень снижают надежность и долговечность организма. Предположим, вам заказали сконструировать какое-то сложное устройство. Неужели вы допустили бы, чтобы важные детали легко терялись, некоторые неизвестно зачем повторялись несколько раз, а другие время от времени переворачивались «задом наперед»? Между тем именно так устроен наш геном...

Ст. «Человек как ошибка эволюции»

Как известно, Москва — город с многочисленными памятниками архитектуры, от великокняжеских теремов до модернистских сооружений. И в каждом — своя прелесть, своя тайна. Среди московских зданий со сравнительно недолгой историей выделяются памятники конструктивизма. Об одном из них, так называемом доме наркомфина, теперь пойдет речь.

Ст. «Дом наркомфина: надежда на спасение»

«Преуспев в создании технических средств проникновения в космос, проблему освоения его человеком никто не изучал, и до сих пор нет научного осмысления этой проблемы ни в философском, ни в психологическом плане», — считает член-корреспондент РАН, летчик-космонавт, дважды герой Советского Союза, профессор Валентин



ISSN 0028-1263

НАУКА И ЖИЗНЬ

10 ● Мобильный телефон — наше всё: им можно заменить даже микроскоп ● Космические лучи давно открыты, а есть ли энергетический предел для приходящих из космоса частиц? ● Знаменитый фантаст Герберт Уэллс оказался неплохим прорицателем: 80% его научно-технических предсказаний сбылись ● Невежливо: десять великих рек планеты не имеют точно установленных истоков! ● Осенний салат из хризантем — и полезно и вкусно.



Лебедев. И предупреждает: «Но от своей природы нам не уйти, она не для других планет, а если попытаемся ее изменить, она обернется против нас и погубит...».

Ст. «Миссия человека в космосе. В чем она?»

В середине XIX в. истоком великой реки Амур стали считать реку Хайлар в Китае. Почему это произошло, объяснить трудно. Система Хайлар — Аргунь — Амур на 230 км

короче и на 780 м ниже, чем система Онон — Шилка — Амур. Казалось бы, что может быть проще: исток — устье, верх — низ! Не тут-то было! С истоками рек, особенно великих, существуют проблемы. Для многих рек истоки до сих пор не установлены. Проблема истоков настолько запутана, что самой длинной рекой в мире считается Нил, хотя на самом деле это Амазонка.

Ст. «К истокам Амура в "страну непобедимых"»

Электронная версия ISSN 1683-9528 представлена в сети Интернет, ежемесячно регистрируется более 60 000 обращений.
Адрес редакции: 101990, Москва, Центр, ул. Мясницкая, д. 24. Тел. (495) 624-1835, факс (495) 625-0590.
Служба распространения и связей с общественностью: Ю.А. Сигорская — (495) 621-9255. Рекламная служба: (495) 628-5965.
<http://www.nkj.ru>, e-mail: mail@nkj.ru.

Продолжается подписка на журнал «Наука и жизнь». Подписные индексы: 70601, 79179, 99349, 99469, 34174.

КОГДА ШУМ — НЕ ПОМЕХА

Согласно последним данным, клетки используют случайные отклонения в биохимических процессах с пользой для себя

Как известно, близнецы, развившиеся из одной оплодотворенной яйцеклетки, по мере взросления приобретают все больше различий. Точно так же и идентичные клетки, выросшие в одинаковых условиях, часто обладают индивидуальными признаками. Такие различия — результат флуктуаций, которые происходят в ходе биохимических реакций, протекающих в клетках. Биологи всегда рассматривали подобные биохимические «выбросы» как помехи, но, согласно последним данным, иногда клетки извлекают из этих случайных событий пользу для себя.

Малые системы, какими являются все клетки, по самой своей природе очень чувствительны к случайным воздействиям (ученые называют их стохастическими или просто шумом), поскольку содержат лишь небольшое число функциональных копий разных белков или нуклеиновых кислот. Малейшие флуктуации в содержании клеточных компонентов могут сказаться на активности того или иного гена, т.е. на том, будет ли синтезирован белок, который кодируется данным геном. Получается, что в каком-то смысле судьбой клетки распоряжается случай. Дефицит механизмов контроля заставляет клетку прибегать к дублированию, например изобретать «запасные» биохимические пути.

До недавнего времени биологи не решались исследовать данное явление — для этого им не хватало точных методов визуализации индивидуальных клеток и молекул. Усреднение же поведения групп клеток означало нивелирование шумового эффекта. Однако примерно десять лет назад по-

явился целый ряд методов (в их числе — использование флуоресцентных меток, которые связывались с определенными клеточными компонентами, так что их свечение можно было наблюдать под микроскопом), позволивших «увидеть» шум в действии. То, что обнаружили ученые, очень их удивило: иногда клетки использовали шум для выживания в новых условиях и принимали решение, изменявшее их развитие. «Обычно живые системы просто свыкаются с шумом и никак на него не реагируют, однако иногда используют в своих целях», — говорит Ричард Лосик (Richard Losik) из Гарвардского университета, чья статья о стохастических эффектах в биологии опубликована в апрельском номере журнала *Science*.

Приведем следующий пример. Одна пятая популяции бактерий *Bacillus subtilis* постоянно находится в особом физиологическом состоянии, называемом компетентным, при котором они могут поглощать чужеродную ДНК из окружающей среды. Переход клетки в такое состояние носит стохастический характер, и несмотря на то что за это приходится «платить» — компетентные клетки не растут и не делятся — состояние компетентности выгодно в эволюционном отношении: колония бактерий получает новый генетический материал. Вероятнее всего, «компетентные клетки сами разыскивают новые нуклеотидные последовательности, которые помогли бы им приспособиться к изменяющимся условиям в будущем», — замечает Лосик.

Шум используют в своих целях и более сложные организмы. Глаз плодовой мушки *Drosophila*

melanogaster состоит из ячеек, каждая из которых в свою очередь образована восемью клетками. В процессе развития каждая клетка делает некий выбор, определяемый тем, в каком состоянии находится регуляторный белок. Белок активируется только в случайной группе клеток, которые в результате начинают реагировать на ультрафиолетовое излучение в определенном диапазоне длин волн. Случайный характер экспрессии гена регуляторного белка означает, что клетки двух типов распределены в сетчатке глаза тоже случайным образом — как будто ставится цель избежать повторения изображений, что могло бы ухудшить зрение насекомого. Несмотря на то что исходно все клетки «находятся в одинаковых условиях и происходят от одного предшественника, они приобретают разный фенотип», — говорит Мадс Керн (Mads Kaern), специалист в области системной биологии, работающий в Оттавском университете.

Итак, выяснилось, что шум играет важную роль в поведении клетки. Но что является источником шума, в какой степени он действует на клетки и целые организмы, в том числе и человека? «Мы знаем кое-что лишь о небольшом числе источников шумов, а на самом деле их огромное количество», — говорит Эдо Кассель (Edo Kussell), биофизик из Нью-Йоркского университета. Еще одна задача — расшифровка механизма их биологического действия. Например, можно высказать массу предположений по поводу того, почему бактериальная клетка становится компетентной, но выяснить, какое из них соответствует действительности, — проблема не из простых. «Как доказать, что какой-то стохастический процесс действительно повлиял на эволюцию?» — задается вопросом Кассель.

Изучая поведение отдельных клеток или молекул, ученые сталкиваются с еще одной проблемой: наблюдение за внутриклеточными процессами сопряжено с воздей-

ствием на них. «Для того чтобы выяснить, что происходит в клетке, мы должны что-то сделать с ней, а как это отразится на предмете изучения, мы по большому счету не знаем», — говорит Керн.

Чтобы ответить на все упомянутые вопросы, необходимо преодолеть целый ряд технологических трудностей, но, без сомнения, дело того стоит. Шумы оказывают многостороннее воздействие, некоторые их аспекты касаются медицины: если клетки организма и бактерии подвержены случайным изменениям, то необходимо выяснить природу воздействий, побуждающих их к этому. Без этого не обойтись, например, при создании новых антибиотиков или оптимизации лечебных мероприятий на клеточном уровне (в частности, на уровне стволовых клеток). «Необходимо разобраться, как действуют шумы внутри самой биологической системы, как они используются организмом», — говорит Керн.

Мелинда Уэннер

ЕСТЬ ЛИ СВЯЗЬ МЕЖДУ МОЛОКОМ И ДИАБЕТОМ?

Согласно результатам некоторых исследований, молочные смеси, содержащие белок коровьего молока, могут повышать риск заболевания диабетом I типа. Новое исследование, проведенное Марсией Голдфарб (Marcia F. Goldfarb) из лаборатории по изучению белков *Anatek-EP*, расположенной в Портленде, раскрывает возможный механизм данного явления. Голдфарб отмечает, что незрелая иммунная система новорожденного ребенка может по ошибке разрушать человеческий белок гликодефин из-за его сходства с похожим белком коровьего молока. Такая оплошность способна привести к появлению избыточного количества T-клеток, которые в норме помогают защищать организм от инфекций; теперь же они начинают атаковать

клетки поджелудочной железы, синтезирующие инсулин, и в результате возникает диабет — сообщается в выпуске *Journal of Proteome Research* Американского химического общества. В настоящее время проводится крупное международное исследование под названием *TIGR*, которое поможет окончательно решить вопрос о связи между коровьим молоком и риском развития диабета.

Керен Бланкфельд Шульц



СТРАДАЮЩИЕ ОТ БОЛИ

В США многие люди испытывают боль — таковы результаты опроса 3982 американцев. Стремясь понять природу каждодневных болей, Алан Крюгер (Alan B. Krueger) из Принстонского университета и Артур Стоун (Arthur A. Stone) из Университета Стони-Брук просили респондентов оценивать свою боль в баллах от 0 (нет боли) до 6 (очень сильная боль) в случайно выбранные моменты времени на протяжении активной части суток. Исследование показало, что существует «неравенство в боли»: бедные люди с низким уровнем образования как правило страдают больше, чем материально благополучные и образованные граждане. Не удивительно, что чувство боли также влияет на степень удовлетворенности жизнью.

Источник: *Lancet*, 3 мая 2008 г.



Процент американцев, страдающих от боли в каждый момент времени: **28**

ПРОЦЕНТ СТРАДАЮЩИХ ОТ БОЛИ СРЕДИ ТЕХ, КТО:

зарабатывает менее \$30 тыс.:	34,2
зарабатывает более \$100 тыс.:	22,9
не окончил среднюю школу:	33
окончил вуз:	20,2
не удовлетворен жизнью:	53,9
средний уровень боли:	2,26
высоко удовлетворен жизнью:	22,4
средний уровень боли:	0,66

ЗАТРАТЫ ЗА ГОД НА:

безрецептурные болеутоляющие средства:	\$2,6 млрд
болеутоляющие средства по назначению врача:	\$13,8 млрд
убытки из-за потери трудоспособности по причине болей:	\$60 млрд

«МИРЫ» ИССЛЕДУЮТ озеро Байкал

Продолжаются исследования озера Байкал с помощью глубоководных аппаратов «Мир-1» и «Мир-2», которые изначально создавались для океанических погружений. Впервые погружение экспедиции на дно Байкала состоялось 29 июля 2008 г. В состав экипажей вошли сотрудники Института океанологии РАН, Лимнологического института Сибирского отделения РАН, Байкальского института природопользования, политические деятели и известный писатель В.Г. Распутин. Такая экспедиция развивает союз научнотехнической и гуманитарной сфер. Исследуется состояние воды, флоры и фауны Байкала, уточняются ре-

льеф и геологическое строение дна озера. «Мирам» удалось опуститься на глубину около 1600 м. В связи с обнаружением на глубине около 500 м особого геологического материала уточняется береговая линия Байкала в прошлом. Ученые не исключают подтверждения гипотез о поднятии уровня вод Байкала из-за геологических изменений либо в результате таяния ледников. Изучаются очаги проявления углеводородов. К исследователям присоединятся специалисты Института геологии нефти и газа СО РАН, а также ученые из других стран. Возможно обнаружение в Байкале новых видов организмов.

Символичен геополитический аспект байкальской экспедиции, если учесть, что в августе 2007 г. полярная экспедиция с помощью тех же глубоководных аппаратов «Мир» установила российский флаг в районе Северного полюса, на дне Северного Ледовитого океана, что вызвало мировую дискуссию о геополитических амбициях России. На дне самого большого пресноводного озера мира также установили пирамиду с российской символикой. Примечательно, что некоторые участники экспедиции пили воду, поднятую с глубин озера, чтобы доказать чистоту Байкала. Новые погружения в различных районах Байкала могут принести находки, представляющие междисциплинарный интерес. Сейчас проведены десятки погружений, всего в 2008 г. планируется 60, а в 2009 г. — 100 погружений.

Дмитрий Мисюров

РАКОВЫЙ СОЮЗ

Секрет распространения рака в организме можно объяснить слиянием опухолевых клеток с белыми кровяными тельцами. Получающиеся гибриды обладают одновременно и способностью белых кровяных клеток к миграции и склонностью раковых клеток к неконтролируемому делению. Теория слияния была впервые выдвинута в 1900-х гг. В своем исследовании, продолжав-

шемся 15 лет, ученые из Йельского университета добивались слияния белых кровяных клеток с опухолевыми клетками и получали гибриды, чрезвычайно склонные к образованию метастазов; после имплантации мышам они неминуемо приводили к гибели животных. Позднее специалисты обнаружили, что такие гибриды образуются у мышей естественным путем. В ходе недавних исследований, проведенных на онкологических больных после пересадки им костного мозга, в раковых клетках пациентов были обна-

ружены гены белых кровяных клеток из трансплантированного им костного мозга. Такое слияние может происходить в результате поглощения опухолевых клеток белыми кровяными клетками. Рассматривая подобный процесс как самостоятельное явление, изменяющее свойства раковых клеток, ученые, возможно, смогут разработать новые лекарственные средства, предотвращающие рост метастазов, заявляют исследователи в майском выпуске *Nature Reviews Cancer*.

Чарлз Чой

ЕДА С натяжением

Длинные тонкие клювы плавунчиков, птиц семейства ржанок, не пригодны для всасывания воды вместе с плавающими в ней вкусными ракообразными. Однако эти птицы ухитряются ловить добычу, пользуясь поверхностным натяжением воды. Сначала они быстро плавают кругами по поверхности воды, создавая небольшой водоворот, который поднимает к поверхности воды всех плавающих в ней существ, затем опус-

кают клюв в воду и резко открывают и закрывают его. В результате маленькие капли размером около 2 мм затягиваются в клюв и попадают в глотку. Ученые из Массачусетского технологического института и Французского национального центра научных исследований провели эксперименты с использованием искусственных клювов и обнаружили, что вода перестает хорошо подниматься по клюву, если в ней имеется

примесь масел, детергентов и других загрязняющих веществ, влияющих на поверхностное натяжение.

Чарлз Чой



ПЛАВУНЧИКИ, представители семейства ржанок, пользуются поверхностным натяжением воды для добывания пищи



Вторая Красноярская Ярмарка Книжной Культуры

5–9 ноября 2008 г.
Красноярск, МВДЦ «Сибирь»

Крупнейшее ежегодное **СОБЫТИЕ** в области книжного дела в Сибири

Формат проекта:
выставка-продажа + книжный фестиваль

Цели проекта:

- пропаганда книги и чтения как культурного досуга;
- представление лучших российских издателей и стимулирование системы распространения интеллектуальной книги в Сибири;
- интеграция фрагментированного культурного сообщества Сибирского и Дальневосточного регионов;
- расширение читательской аудитории и повышение статуса письменной культуры.

Книжный фестиваль в рамках ярмарки включает следующие направления:

I. Книга как продукт:

цикл мероприятий для профессионального книжного сообщества.

II. Книга как искусство:

выставки, музыкальные и видеопрограммы, инсталляции, перформансы, мастер-классы по книжному дизайну и др.

III. Книга как социальный институт:

дискуссии и круглые столы о состоянии современной литературы.



ФОНД
МИХАИЛА
ПРОХОРОВА



сибирь
международный
выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадяна

Официальная страница ярмарки: www.prokhorovfund.ru/projects/bookfair

ДРЕВНИЕ ГЕНЫ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Реанимированные «прыгающие гены» можно использовать для доставки в организм целевой ДНК

Если бы каким-то невероятным способом удалось оживить одного из древних предков человека, мы узнали бы о его образе жизни гораздо больше, чем это позволяет сделать многолетнее изучение ископаемых останков и артефактов. Он даже смог бы поделиться с нами некоторыми жизненно важными навыками.

В такой ситуации оказались генетики из Германии и Венгрии, когда они воссоздали давно исчезнувшего предшественника по крайней мере двух генов современного человека, *Harbinger3_DR*. Теперь они намереваются посмотреть, как он будет вести себя в живой клетке. *Harbinger3_DR* — не простой сегмент реликтовой ДНК, это древний транспозон, одна из разновидностей мобильных генетических элементов, способный вырезать сам себя из одной части генома и встраиваться в другую.

В геноме человека остались лишь следы пребывания данного транспозона, но различные его варианты можно найти у других организ-

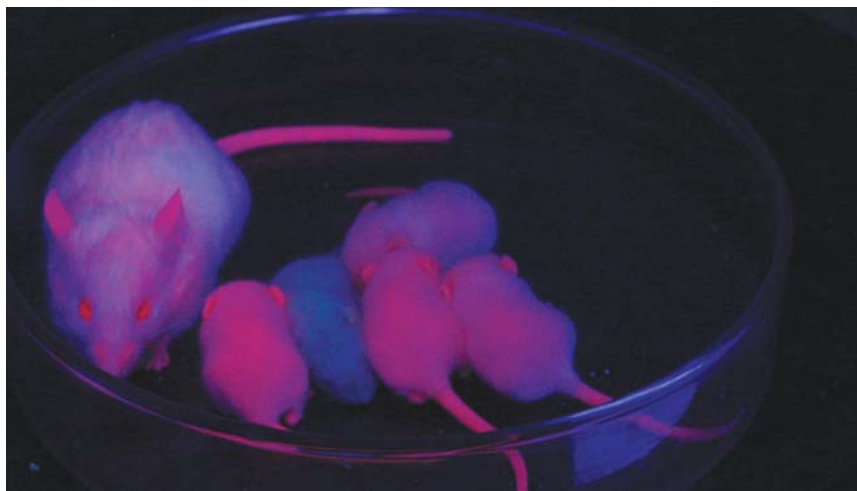
мов, в частности у рыбок данио-рерио. Он предпочитает находиться в областях генома со специфической нуклеотидной последовательностью. «Именно поэтому мы и выбрали ген *Harbinger3_DR* для своих экспериментов, — говорит Золтан Ивич (Zoltan Ivics) из Центра молекулярной медицины Макса Дельбрюка в Берлине. — Мы хотим использовать возвращенный к жизни элемент для того чтобы понять, как он распознает место для своего встраивания».

Используя соответствующий ген рыбок данио-рерио в качестве матрицы, Ивич с коллегами синтезировали *Harbinger3_DR*, несущий все элементы, необходимые для его функционирования в клетках человека. В отличие от обычных генов, кодирующих нужные организму белки, транспозоны являются работающими только на себя паразитами, которые содержат информацию, обеспечивающую их перемещение с места на место. Аппарат перемещения включает фермент транспозазу, который вырезает транспозон

и «вшивает» его в другое место в геноме. *Harbinger3_DR* кодирует также некий таинственный белок, названный *Myb*-подобным благодаря его сходству с другим белком.

Когда генетическая конструкция *Harbinger3_DR* была введена в клетки человека в культуре, в них начался синтез *Myb*-подобных белков. Последующие наблюдения показали, что данный белок необходим для доставки транспозазы в клеточное ядро и перемещения ее к концам транспозона, по которым фермент делает надрезы в одной из цепей ДНК, а затем включает транспозон в новый сайт. Ивич намеревается выяснить детали процесса и прежде всего установить, как два упомянутых белка выбирают место встраивания. «Мы надеемся выявить особенности взаимодействия с ДНК, которые помогут идентифицировать или даже сконструировать ее домены, «привлекающие» тот или иной ген», — поясняет ученый. В дальнейшем он собирается использовать транспозоны в качестве безопасных переносчиков целевых генов. Сегодня наиболее распространенными векторами в генной инженерии служат инактивированные вирусы, но их ДНК встраивается в геном клетки-хозяина в случайных местах. Известны случаи, когда включение вирусной ДНК в жизненно важные гены приводило к развитию у пациента лейкоза. Кроме того, вирус может восстановить свою инфекционность, хотя случается это крайне редко.

Научившись контролировать включение транспозонов в новый сайт, можно будет направлять их вместе с целевым геном в область генома, далекую от места расположения жизненно важных генов, и блокировать дальнейшее перемещение по геному. По крайней мере так считает Марджи Ламбер (Margy Lambert), молекулярный биолог и эксперт по биобезопасности, рабо-



УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВЕКТОР: транспозоны — самый удобный инструмент для встраивания чужеродных генов в организм экспериментальных животных, таких как мыши, несущие ген флуоресцирующего белка

тающая в Висконсинском университете в г. Мэдисон. «В случае удачи мы избежим тех недостатков, которые присущи вирусным векторам», — полагает она.

Разные исследовательские группы уже работают над созданием транспозонов, лишенных возможности кодировать собственные транспозазы. Их можно будет встраивать в присутствии минимального количества фермента, обеспечивающего только данный этап, но не последующий перенос.

Ивич, который в 1997 г. «реанимировал» другой древний транспозон, названный им *Sleeping Beauty* («Спящая красавица»), показал в прошлом году, что он может контролировать его встраивание. «Пока я не готов к тому, чтобы пытаться использовать мой метод в медицине, — говорит он. — Но то, что он работает, не вызывает сомнений».

«Сотрудничество» между транспозазой и *Mub*-подобным белком — еще одно необычное явление, достойное

АССИМИЛИРОВАННЫЕ ГЕНЫ

Транспозоны — настоящие геномные паразиты. Эти сегменты ДНК перемещаются в ней с места на место, иногда включаясь в жизненно важные гены и выводя их из строя. Многие живые организмы выработали в ходе эволюции механизмы устранения транспозонов и других мобильных элементов, и в результате от них почти не осталось следа. Реанимированный древний транспозон *Harbinger* кодирует два белка; один из них помогает другому проникнуть в клеточное ядро и осуществить вырезание и перемещение транспозона. Их взаимодействие напоминает таковое между двумя сходными белками, *HARBI1* и *NAIF1*. Оба они кодируются геном, содержащим фрагменты *Harbinger*.

Зольтан Ивич надеется, что его методы «реанимации» транспозонов дадут в руки исследователей инструменты, которые помогут понять, как «прыгающие гены», утратившие некоторые основные части своего аппарата перемещения, включаются в геном организма-хозяина и влияют на его эволюцию. Например, известно, что ген человека *RAG-1*, происходящий от транспозона, кодирует фермент, который помогает клеткам иммунной системы реагировать на не известные ей ранее патогены, перестраивая сегменты ДНК. «Мы знаем не так уж много генов — производных транспозонов, о которых известно хоть что-то, — говорит Ивич. — Пришло время исследовать их более детально, и я уверен: это будет увлекательное занятие!»

изучения. Так считает Тянь Сюй (Tian Xu), генетик из Медицинской школы Йельского университета, который работает с другим транспозоном, *piggyback*, на мышах и культуре клеток человека.

Ивич надеется, что через пять лет его детище, *Sleeping Beauty*, будет готово к тестированию в качестве переносчика целевых генов и найдет применение в генной терапии.

Кристин Соарес



5-7 ноября 2008 года
в Москве, в ЭКСПОЦЕНТРЕ, в пав. 4
пройдет

Биотехнологическая выставка-ярмарка
«РосБиоТех-2008»
(инновации и инвестиции в биотехнологиях)

Будем рады видеть Вас в качестве участников
и посетителей выставки-ярмарки и ее деловой
программы

Контакты: (495) 629-57-87; 629-12-56;
629-20-58; 256-05-63
e-mail: bvg00@mail.ru
www.rosbiotech.com; www.salonexpo.ru

Мозговой штурм

В Петербурге прошел 14-й Всемирный конгресс по психофизиологии

У конгресса есть и другое, вполне официальное название — *Olympics of the Brain*, которое можно перевести как «Олимпийцы мозга». Оно в полной мере отражает суть этих крупнейших форумов, которые проводятся один раз в два года. Во-первых, разнообразие: в программе присутствуют несколько десятков тем и дисциплин, связанных с изучением мозга, начиная от поиска фундаментальных причин болезней Паркинсона и Альцгеймера, депрессии, шизофрении и кончая изучением механизмов обучения и памяти. Во-вторых, высокий уровень участников и количество стран, которые они представляют: в нынешнем году «соревновалось» около 600 исследователей из 67 стран — рекордные цифры для подобных конгрессов. Проводятся они уже в течение 26 лет, с момента основания в 1982 г. Международной организации по психофизиологии (I.O.P.), которая получила аккредитацию при ООН. Цель, как объяснил «В мире науки» президент I.O.P. Константин Мангина (Канада), — «объединить ученых-психофизиологов мира и превратить психофизиологию в базисную науку, в рамках которой исследуется здоровый и больной мозг — как фундаментальные, так и прикладные, медицинские аспекты».

В тематике нынешнего конгресса отразилась четкая тенденция этой области науки последних нескольких лет: сегодня многие исследователи пытаются «зафиксировать» с помощью различных методик и приборов вышедшие функции, которые присущи только человеческому мозгу, — процессы мышления и творчества. Изучению механизмов последнего

был даже посвящен специальный симпозиум, в котором участвовали исследователи из США, Германии, Австрии и России. Наши молодые ученые из Института мозга человека РАН — ученики академика Н.П. Бехтерева, которая в числе первых взялась за эту задачу, еще десять лет назад казавшуюся невыполнимой.

«Мозг, как известно, является самым сложным объектом во Вселенной, и мы несмотря на все усилия, методики, технологии пока не можем до конца понять, как он работает, — признает председатель оргкомитета конгресса, директор Института мозга человека РАН, член-корреспондент РАН С.В. Медведев. — И все-таки каждое исследование приближает нас к этой цели». Однако, по мнению Медведева и многих его коллег, просто рост количества узконаправленных работ не позволит достичь желаемого результата. Настал момент анализа и осмысления огромного массива полученных результатов, их объединения и приведения в систему.

Активная работа мозга может влиять на состояние организма в целом и даже продлить человеку жизнь

«От нейрона — к системе» и «Генетика, мозг и поведение» — так назывались крупные симпозиумы конгресса, участники которых продемонстрировали именно то, как для изучения психических процессов объединяются различные дисциплины — физиология, молекулярная биология и генетика. Пример подобного подхода — пленарная лекция члена-корреспондента РАН, руково-

дителя отдела системогенеза и лаборатории нейробиологии памяти Института нормальной физиологии РАН К.В. Анохина, который рассказал о собственных экспериментах по изучению механизмов памяти, которые находятся на стыке физиологии и генетики, проанализировал основные результаты других исследователей, работающих в этой области, и представил основные гипотезы, требующие проверки.

«Для системного подхода требуются новые технологии, — считает профессор Скотт Макейг из Калифорнийского университета в Сан-Диего. — Сегодня нейрофизиологи при исследовании тонких психических процессов используют в основном электроэнцефалографию, магнитный резонанс и позитронно-эмиссионную томографию, — во всех случаях испытуемые, которым предлагают, решить, например, задачи на сообразительность, делают это в искусственно созданной ситуации, и результат, полученный при этом, может быть сильно искажен». В своей пленарной лекции «Связывая мозг, мышление и поведение» он говорил о развитии новых технологий, которые позволили бы исследовать мыслительные процессы у человека в естественном состоянии, когда он двигается, слышит окружающий шум, видит различные предметы и т.д. Он продемонстрировал на слайде испытуемого, на голове которого была надета «шапочка» с электродами, а за спиной —

небольшой рюкзачок. Очень похоже на круглосуточный мониторинг сердца, только вместо давления и пульса в режиме реального времени и «реальной жизни» записываются показатели работы мозга, в том числе мыслительной деятельности. Правда, насколько точной будет их трактовка, пока неясно. Еще одна отличительная черта нынешнего конгресса — обращение



к истории. Известно, что русские ученые И.М. Сеченов, В.М. Бехтерев, И.П. Павлов, А.Р. Лурия, Л.А. Орбели и более современные их последователи по сути заложили фундамент современной нейрофизиологии, однако большинство западных ученых очень мало об этом знают. Возможно, специальный симпозиум «Научный исторический вклад нашей истории в психофизиологию» поможет восполнить этот пробел. В ряду ведущих российских ученых-физиологов — академик Н.П. Бехтерева, которая должна была выступать на открытии 14-го Всемирного конгресса психофизиологов с пленарной лекцией. Однако всего за два месяца до этого события ее не стало. Вместо лекции был организован мемориальный симпозиум, где выступали ее коллеги и ученики. А сам текст был представлен участникам в виде небольшой, хорошо оформленной брошюры. Речь в ней идет о том, как активная работа мозга мо-

МЕМОРИАЛЬНЫЙ СИМПОЗИУМ ПАМЯТИ АКАДЕМИКА НАТАЛЬИ БЕХТЕРЕВОЙ. Президент И.О.Р Константин Мангина (Канада — США) и директор Института мозга человека РАН, член-корреспондент РАН С.В. Медведев

жет влиять на состояние организма в целом и даже продлить человеку жизнь. В последние годы Н.П. Бехтерева много времени уделяла поиску объяснения механизмов того, как мозг может управлять организмом человека.

«Структуры мозга, которые дополнительно активируются при решении творческой задачи, имеют прямое отношение к различным аспектам памяти поведения и речи, ориентации во времени и пространстве, проявлениям личности (*personality*), — пишет исследователь. — В то же время они влияют и на физиологические процессы, обеспечивающие важные функции. В возможности ряда из этих структур входит обеспечение эмоций, регуляция автономной нервной системы, дыхания, ритма сердца и т.д.

Полагаю, что именно вовлечение человека в творческий процесс со всеми сопровождающими его перестройками в мозге и организме и приводит к статистически оправданной, пожалуй, удивительной ситуации, когда "умные живут дольше". Оживает мозг, оживает организм. Существующие связи между клетками и структурами мозга становятся более активными, образуются новые связи и, скорее всего, новые клетки, нейроны.

Никак не отрицая огромную пользу и необходимость физических тренировок, правильного питания, считаю важным именно сегодня, учитывая тенденции современного мира, подчеркнуть целесообразность направленной активации творческого потенциала мозга».

Елена Кокурина

Мелинда Уэннер

В ладу с бактериями

Организм человека и обитающие в нем бактерии образуют множество веществ, которые содержат информацию о состоянии здоровья. Когда-нибудь лечение больного будет включать и «лечение» этих бактерий

Шел 1981 г., и молодой биохимик Джереми Николсон (Jeremy Nicolson) только начинал свою научную карьеру. Используя метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР), который позволяет идентифицировать различные атомы в соответствии с магнитными свойствами ядер, он собирался изучать процесс поглощения эритроцитами кадмия — металлического элемента, вызывающего рак. Понимая, что объект исследования (эритроциты) должен находиться в естественном окружении, он добавил в среду несколько капель крови и начал измерения.

«Мы тут же увидели множество новых ЯМР-сигналов — целые наборы спектров», — вспоминает Николсон. Любой образец крови или мочи содержит тысячи метаболитов — продуктов биохимических реакций, протекающих в организме в момент взятия пробы. Николсон сразу понял, что научившись «читать» такой «химический текст», он сможет не только прийти до первопричин различных

заболеваний, но и обнаруживать первые их признаки. Данное направление исследований определило его научную судьбу на многие годы.

Сегодня 51-летний ученый стал одним из авторитетных экспертов в области метаболомики — области биохимии, которая занимается изучением процессов метаболизма и идентификацией его продуктов. В отличие от генома (хранилища информации о генетическом статусе организма), так называемый метаболом служит картотекой с указанием взаимодействий генов между собой и с окружающей средой, чем-то вроде «моментального снимка» биохимического статуса того же организма. «Геном можно сравнить с телефонной книгой, где указаны номера, но нет ни фамилий, ни адресов», — поясняет Николсон, который теперь руководит отделом молекулярной медицины в Лондонском имперском колледже. Метаболом придает смысл информации, заключенной в геноме, и позволяет строить прогнозы.

Однако вначале его нужно расшифровать, а это нелегкая задача. Необходимо проанализировать огромное число проб крови, мочи, кала и выдыхаемого воздуха, взятых у членов крупных популяций. Так, для того чтобы идентифицировать биохимические маркеры гипертензии, Николсон с сотрудниками взяли образцы мочи у 4630 жителей США, Англии и стран Азии и сопоставили содержание в них метаболитов у здоровых и больных индивидов.

Такой научный подход поставлен с ног на голову: вместо того чтобы сначала сформулировать гипотезу а затем провести ее экспериментальную проверку, ставятся эксперименты, и исходя из анализа их результатов выдвигаются гипотезы. В ходе экспериментов необходимо идентифицировать все возможные продукты генов испытуемых, питательные вещества, которые они получают с пищей, лекарственные вещества и их метаболиты, определить состав кишечной флоры и состояние здоровья.

Предмет особого внимания Николсона — бактерии. Они участвуют в расщеплении компонентов пищи и метаболизме лекарственных веществ, а поскольку состав микрофлоры у разных людей неодинаков, различается и их способность усваивать те или иные продукты питания и реагировать на лечение. Например, некоторые люди не могут расщеплять один из компонентов сои, потому что в их кишечнике не обитают необходимые для этого микроорганизмы. Определить, какие метаболиты образуются в результате непосредственной деятельности кишечных

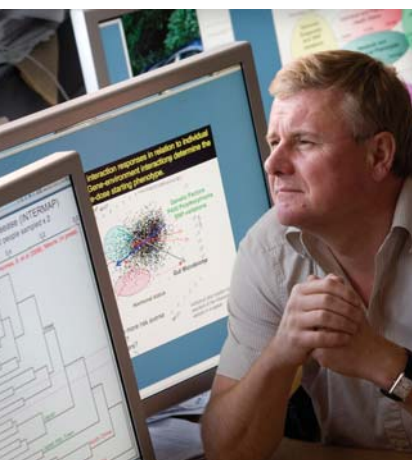
ДЖЕРЕМИ НИКОЛСОН

■ **ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ.** Анализируя продукты жизнедеятельности бактерий, которые обитают в желудочно-кишечном тракте человека, Николсон надеется создать новые инструменты диагностики заболеваний и найти новые мишени для лекарственных веществ.

■ **НЕСМЕТНЫЕ ПОЛЧИЩА.** Кишечник человека населяет примерно 10 млн бактерий 1 тыс. видов.

■ **НОВЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ.** Работы Николсона послужили основой двух новых дисциплин: метаболомики и метабеномики. Первая изучает продукты метаболизма клеток, вторая — изменения метаболизма биологических систем под действием различных факторов.

■ **ЗАСТАВИЛИ СЕБЯ УВАЖАТЬ.** О метаболомических «отпечатках пальцев», оставляемых кишечными бактериями: «Вначале я считал их досадной помехой, искажающей метаболомический профиль млекопитающих. Теперь я отношусь к ним с величайшим почтением».



бактерий, обычно бывает не так-то просто, но есть исключения: некоторые вещества не могут образовываться в самом организме хозяина.

Именно такие вещества и интересуют Николсона. Во-первых, о них мало что известно, а во-вторых, они могут оказаться крайне важны с точки зрения состояния здоровья человека — во всяком случае, на это указывают результаты недавних исследований влияния микроорганизмов, населяющих желудочно-кишечный тракт, на наше самочувствие. Полезные бактерии помогают усваивать питательные вещества, бороться с вирусами и другими патогенными микроорганизмами. Нарушение кишечной флоры (например, под действием антибиотиков) часто приводит к расстройству пищеварения. Более того, Николсон уверен, что «любое заболевание так или иначе связано с дисбактериозом».

Самый известный обитатель нашего кишечника, доставляющий массу хлопот, — бактерия *Helicobacter pylori*, часто провоцирующая развитие пептической язвы. По данным исследований последних лет, относительное преобладание в желудке бактерий двух специфических типов связано с ожирением, а дисбактериоз приводит к ожирению печени, воспалению слизистой кишечника и некоторым видам рака. Николсон полагает даже, что микроорганизмы причастны к развитию таких неврологических заболеваний, как синдром Туретта и аутизм. «Существуют свидетельства того, что если у вас не все в порядке с кишечной микрофлорой, то это отрицательно сказывается на биохимии головного мозга», — замечает Николсон. Совместно с микробиологами он пытается сейчас установить соответствие между наличием тех или иных метаболитов, с одной стороны, и специфических бактерий — с другой (заметим, что в нашем организме одновременно присутствует 10 трлн бактерий 1 тыс. видов).

Детальное исследование обитающих в организме человека бактерий стало возможно совсем недавно. Несмотря на то что микробиологи уже давно научились выделять кишеч-



СОВМЕСТНОЕ ПРОЖИВАНИЕ: *Helicobacter pylori* (красный цвет) и другие кишечные бактерии влияют на состояние нашего здоровья

ные бактерии из проб кала, культивировать, а, следовательно, и изучать их не удавалось — они росли только в очень кислой среде в анаэробных условиях. Сегодня, с развитием технологии секвенирования ДНК, идентификация бактерий не составляет труда. В декабре 2007 г. под эгидой Национальных институтов здоровья началась реализация проекта «Микробиом человека», цель которого — характеристика микрофлоры кишечника.

Если сегодня микробиологи могут установить корреляцию между метаболитным профилем человека и состоянием его здоровья, то вскоре по результатам анализа мочи они смогут судить о степени отклонения кишечной микрофлоры от нормы (нечто подобное тесту на беременность). Некоторые компании уже начали продавать продукты питания, которые помогают поддерживать микробиологический баланс в организме. Одни из них содержат живые полезные бактерии (пробиотики), другие — вещества, способствующие их размножению (пребиотики), третьи — их комбинацию (синбиотики). К сожалению, данные препараты относят к категории пищевых добавок, а значит, они редко проходят клинические испытания. Исключение составляет продукт VSL#3, содержащий восемь видов бактерий. Его эффективность при неспеци-

ческом язвенном колите и синдроме раздраженной толстой кишки доказана в ходе испытаний с применением двойного слепого контроля.

Существует много способов создания лекарственных средств с использованием микроорганизмов, и потребность в них велика. По данным фирмы *Pfizer*, геном человека может «предложить» не более 3 тыс. мишеней для медикаментозной терапии, поскольку лишь ограниченное число генов кодирует белки, способные связываться с лекарственными веществами и подвергаться модификации. «Популяция микроорганизмов, обитающих в нашем теле, насчитывает в сотни раз больше генов», — обращает внимание Николсон. Он ведет активную просветительскую работу во многих фармацевтических компаниях, разъясняя тем, кто занимается созданием новых лекарственных средств, как они метаболизируются в организме человека. «Это один из немногих ученых из академической среды, чей интерес к развитию фармацевтической промышленности продиктован не коммерческими, а научными соображениями», — заявляет Иэн Уилсон (Ian Wilson), сотрудник английской компании *AstraZeneca*.

Поскольку одной только генетической информации недостаточно для того, чтобы оценить риск того или иного заболевания, Николсон мечтает о том времени, когда по результатам анализа крови или мочи можно будет составлять метаболические профили для каждого человека и судить о перспективах состояния его здоровья или подбирать соответствующее лечение. И во многих случаях мишенью назначаемых лекарственных препаратов будут не клетки органов и тканей больного, а обитающие в его теле микроорганизмы. «Перед нами откроются возможности, о которых еще несколько лет назад мы и не подозревали», — говорит Николсон. — Многие микробиологи сочтут это фантастикой. Но только замыслив почти непредставимое, можно достичь прогресса». ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская



САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ

Ян Амбьорн, Рената Лолл и Ежи Юркевич

Новый подход к проблеме квантовой гравитации, над которой ученые бьются уже многие десятилетия, возвращает к основам и показывает, как «складываются» друг с другом «кирпичики», из которых построены пространство и время

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

■ Общеизвестно, что квантовая теория и общая теория относительности Эйнштейна не стыкуются друг с другом. Физики уже давно пытаются связать их в единую теорию квантовой гравитации, но больших успехов не добились.

■ Предлагаемый новый подход не вводит никаких экзотических положений, но открывает новый путь приложения известных законов к отдельным элементам пространства-времени. Эти элементы приходят в согласие подобно молекулам в кристалле.

■ Наш подход показывает, как известное нам четырехмерное пространство-время может динамически возникнуть из более фундаментальных компонентов. Более того, он позволяет предположить, как это пространство-время в микроскопическом масштабе постепенно переходит от гладкой непрерывности к причудливой фрактальности

Как возникли пространство и время? Как они образовали гладкую четырехмерную пустоту, служащую фоном для нашего физического мира? Как выглядят они при ближайшем рассмотрении? Подобные вопросы возникают на переднем крае современной науки и подталкивают к исследованию квантовой гравитации — до сих пор пока еще не созданного объединения общей теории относительности Эйнштейна с квантовой теорией. Теория относительности описывает, как пространство и время в макроскопическом масштабе могут принимать бесчисленные формы, создавая то, что мы называем силой тяготения или гравитацией. Квантовая теория описывает законы физики, действующие в атомном и субатомном масштабах, полностью игнорируя эффекты гравитации. Теория квантовой гравитации должна описать в квантовых законах природу пространства-времени в самых малых масштабах — пространствах между самыми малыми известными элементарными частицами — и, возможно, объяснить ее через какие-то фундаментальные составляющие.



Квантовая вселенная

Основным кандидатом на эту роль часто называют теорию суперструн, но она пока не дала ответа ни на один из животрепещущих вопросов. Более того, следуя своей внутренней логике, она вскрыла еще более глубокие слои новых экзотических составляющих и взаимоотношений между ними, приводя к ошеломительному разнообразию возможных результатов.

В последние годы наша работа стала перспективной альтернативой изъезженной магистрали теоретической физики. Последовав простейшему рецепту — взять несколько фундаментальных составляющих, собрать их в соответствии с хорошо известными квантовыми принципами (без какой-либо экзотики), хорошенько перемешать и дать отстояться, — вы получите квантовое пространство-время. Процесс достаточно прост, чтобы его можно было смоделировать на портативном компьютере.

Иными словами, если, рассматривая пустое пространство-время (вакуум) как некую нематериальную субстанцию, состоящую из очень большого числа микроскопических бесструктурных элементов, позво-

лить им взаимодействовать между собой в соответствии с простыми правилами теории гравитации и квантовой теории, то эти элементы спонтанно организуются в единое целое, которое во многих отношениях будет выглядеть так же, как наблюдаемая Вселенная. Процесс подобен тому, как молекулы организуются в кристаллическое или аморфное твердое тело.

При таком подходе пространство-время может оказаться похожим скорее на обычное смешанное жаркое, чем на сложный свадебный торт. Более того, в отличие от других подходов к квантовой гравитации, наш очень устойчив. Когда мы меняем детали своей модели, результат практически не изменяется. Такая устойчивость дает основания надеяться, что мы на правильном пути. Если бы результат был чувствителен к тому, куда мы поместили каждый кусочек нашего огромного ансамбля, мы получили бы колоссальное количество равновероятных барочных форм, что исключило бы возможность объяснения того, почему Вселенная оказалась именно такой, какая она есть.

Подобные механизмы самосборки и самоорганизации действуют в физике, биологии и других областях науки. Красивым примером служит поведение больших стай птиц, например скворцов. Отдельные птицы взаимодействуют лишь с небольшим числом соседей; вожака, который объяснял бы им, что нужно делать, нет. Тем не менее стая формируется и движется как единое целое, обладая коллективными, или производными свойствами, не проявляющимися в поведении отдельных особей.

Краткая история квантовой гравитации

Прежние попытки объяснения квантовой структуры пространства-времени как формирующейся в процессе самопроизвольного возникновения не принесли заметного успеха. Они исходили из евклидовой квантовой гравитации. Программа исследований была начата в конце 1970-х гг. и стала популярной благодаря книге «Краткая история времени» (*Brief History of Time*) физика Стивена Хокинга (Stephen Hawking), ставшей бестселлером.

ТЕОРИИ КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

ТЕОРИЯ СТРУН

Поддерживаемая большинством физиков-теоретиков, эта теория касается не только квантовой гравитации, но и всех видов материи и сил. В ее основе лежит представление, что все частицы (включая гипотетические, переносящие гравитацию) представляют собой колеблющиеся струны

ПЕТЛЕВАЯ КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ

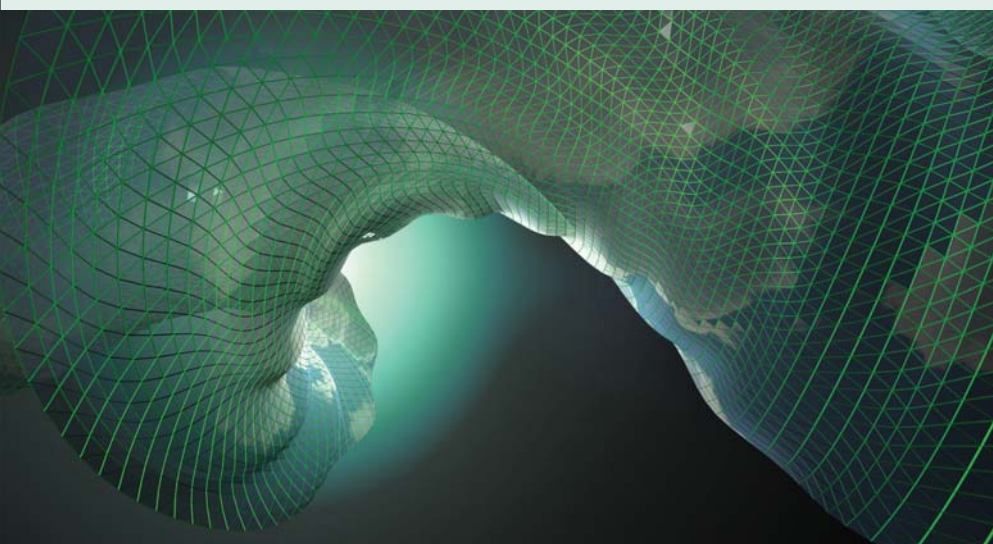
Главная альтернатива теории струн. Она привлекает новый метод применения правил квантовой механики к общей теории относительности Эйнштейна. Пространство делится на дискретные «атомы» объема

ЕВКЛИДОВА КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ

Подход, получивший известность благодаря физика Стивену Хокингу, основан на предположении, что пространство-время возникает из общего квантового среднего всех возможных форм. В этой теории время считается равноправным с пространственными измерениями

КАУЗАЛЬНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ТРИАНГУЛЯЦИЯ

Этот подход, являющийся темой настоящей статьи, представляет собой современный вариант евклидова подхода. Он основан на аппроксимации пространства-времени мозаикой треугольников с изначальным различием пространства и времени. В малых масштабах пространство-время приобретает фрактальную структуру



Эта программа исходит из принципа суперпозиции, фундаментально-го для квантовой механики. Любой объект, классический или квантовый, находится в некотором состоянии, характеризуемом, например, положением и скоростью. Но если состояние классического объекта может быть описано свойственным только ему набором чисел, то состояние квантового гораздо богаче: оно является суммой всех возможных классических состояний.

Например, классический бильярдный шар движется по определенной траектории, и его положение и скорость в любой момент могут быть точно определены. В случае

гораздо меньшего электрона все обстоит иначе. Его движение подчиняется квантовым законам, согласно которым электрон может существовать одновременно во множестве мест и обладать множеством скоростей. В отсутствие внешних воздействий из точки А в точку В электрон движется не по прямой, а по всем возможным путям одновременно. Качественная картина всех возможных путей его движения, собранных воедино, переходит в строгий математический «рецепт» для квантовой суперпозиции, сформулированный нобелевским лауреатом Ричардом Фейнманом (Richard Feynman),

и дающий взвешенное среднее всех отдельных возможностей.

Пользуясь предложенным рецептом, можно рассчитать вероятность нахождения электрона в любом конкретном диапазоне положений и скоростей в стороне от прямого пути, по которому он должен был бы двигаться по законам классической механики. Отличительное свойство квантовомеханического поведения частицы — отклонения от единой четкой траектории, т.н. квантовые флуктуации. Чем меньше размер рассматриваемой физической системы, тем больше роль квантовых флуктуаций.

В евклидовой квантовой гравитации принцип суперпозиции применяется ко всей Вселенной в целом. В этом случае суперпозиция состоит не из различных траекторий частицы, а из возможных путей эволюции вселенной во времени, в частности форм пространства-времени. Чтобы свести задачу к виду, позволяющему искать решение, физики обычно рассматривают только общие форму и размер пространства-времени, а не каждое из его мыслимых искажений (см.: Jonathan J. Halliwell, *Quantum Cosmology and the Creation of the Universe* // *Scientific American*, December 1991).

В 1980–1990-х гг. исследования в области евклидовой квантовой гравитации прошли большой технический путь, связанный с разработкой мощных средств компьютерного моделирования. Используемые модели представляли геометрии искривленного пространства-времени с помощью элементарных «кирпичиков», которые для удобства считали треугольными. Сетки из треугольных ячеек позволяют эффективно аппроксимировать искривленные поверхности, поэтому они часто используются в компьютерной анимации. В случае моделирования пространства-времени эти элементарные «кирпичики» представляют собой обобщения треугольников применительно к четырехмерному пространству и называются 4-симплексами. Точно так же как склеивание треугольников их ребрами

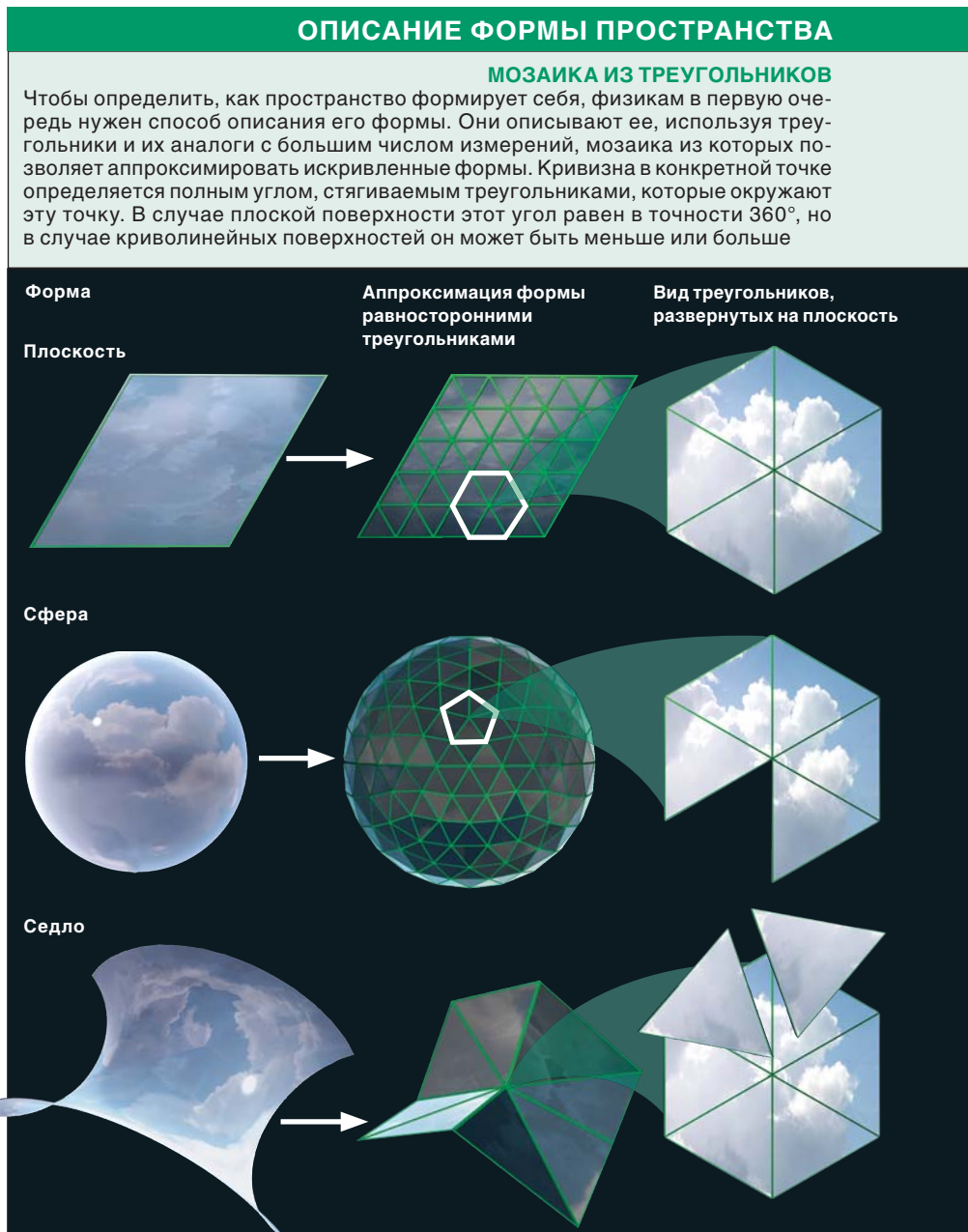
позволяет создавать искривленные двумерные поверхности, склеивание «граней» четырехмерных симплексов (представляющих собой трехмерные тетраэдры) позволяет создать модель четырехмерного пространства-времени.

Сами «кирпичики» не имеют прямого физического смысла. Если бы можно было рассматривать пространство-время под сверхмощным микроскопом, никаких треугольников видно бы не было. Они представляют собой лишь аппроксимации. Единственная информация, имеющая физический смысл, содержится в их коллективном поведении в представлении, что каждый из них уменьшился до нулевого размера. В этом пределе геометрия «кирпичиков» (будь они треугольными, кубическими, пятиугольными или представляют собой любую смесь данных форм) не имеет никакого значения.

Нечувствительность к разнообразным мелкомасштабным деталям часто называют универсальностью. Явление, хорошо известное в статистической физике, изучающей движение молекул в газах и жидкостях: молекулы ведут себя почти одинаково, каким бы ни был их состав. Универсальность ассоциируется со свойствами систем, состоящих из большого числа отдельных элементов, и проявляется в масштабе, гораздо большем масштаба отдельной составляющей. Аналогичное утверждение для стаи птиц состоит в том, что окраска, размер, размах крыльев и возраст отдельных птиц не имеют никакого отношения к поведению стаи как целого. В макроскопическом масштабе проявляются лишь очень немногие микроскопические детали.

Съезживание

С помощью компьютерных моделей исследователи квантовой гравитации начали изучать эффекты суперпозиции форм пространства-времени, не поддающиеся изучению методами классической теории относительности, в частности сильно искривленные на очень малых расстояниях. Этот так называемый не-



возмущающий режим больше всего интересует физиков, но почти не поддается анализу без применения компьютеров.

К сожалению, моделирование показало, что евклидова квантовая гравитация не позволяет учесть важные составляющие поведения. Все невозмущающие суперпозиции в четырехмерной вселенной оказались в принципе неустойчивыми. Квантовые флуктуации кривизны в малых масштабах, которые характеризуют различные наложенные

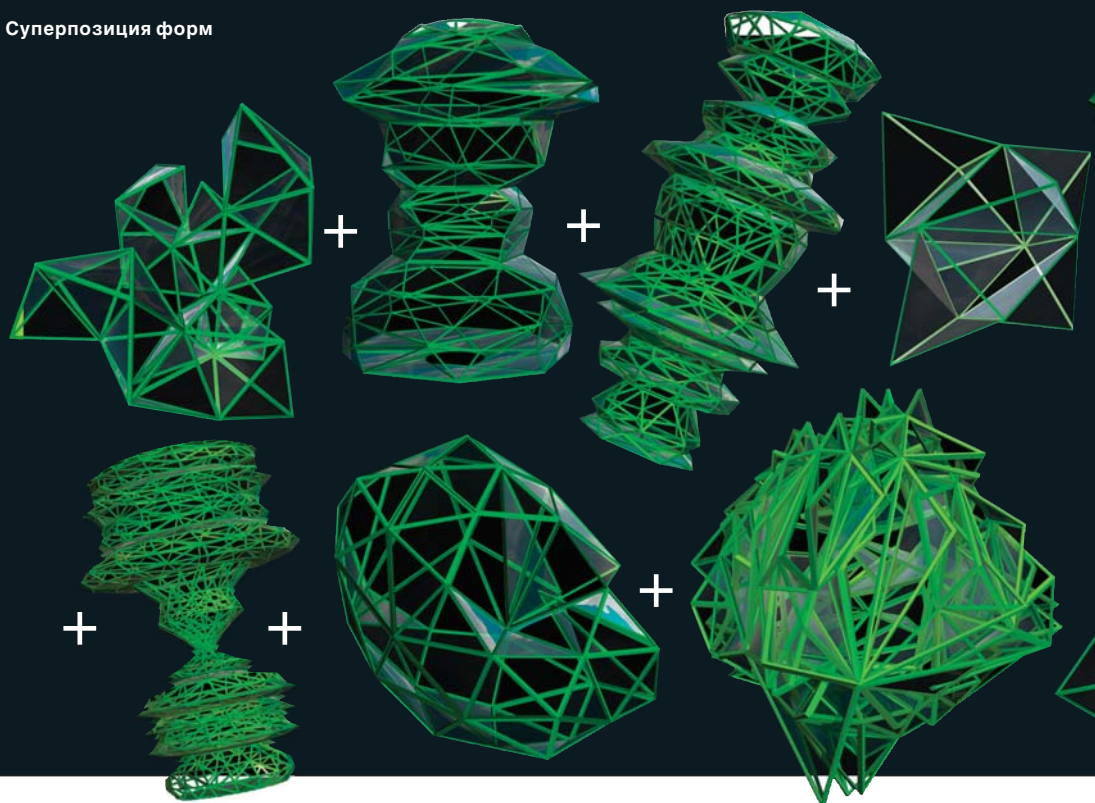
вселенные, вносящие свои вклады в среднее, не компенсируют, а взаимно усиливают друг друга, заставляя все пространство съезжаться в маленький шар с бесконечным числом измерений. В таком пространстве расстояние между любыми двумя точками всегда остается очень малым, даже если его объем огромен. В некоторых случаях пространство обращается в другую крайность, становясь предельно тонким и протяженным, подобно полимеру с большим количеством ветвей. Ни одна

ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТОВЫХ ПРАВИЛ К ПРОСТРАНСТВУ-ВРЕМЕНИ

УСРЕДНЕНИЕ

Пространство-время может принимать великое множество разнообразных форм. Согласно квантовой теории, форма, которую мы увидим с наибольшей вероятностью, представляет собой суперпозицию, или взвешенное среднее всех возможных форм. Составляя формы из треугольников, теоретики приписывают каждой из них вес в зависимости от конкретного способа связывания этих треугольников при построении данной формы. Авторы установили: для того чтобы полученное среднее согласовывалось с наблюдаемой реальной Вселенной, треугольники должны подчиняться определенным правилам, в частности содержать встроенные «стрелки», указывающие направление времени

Суперпозиция форм



из этих возможностей не похожа на нашу реальную Вселенную.

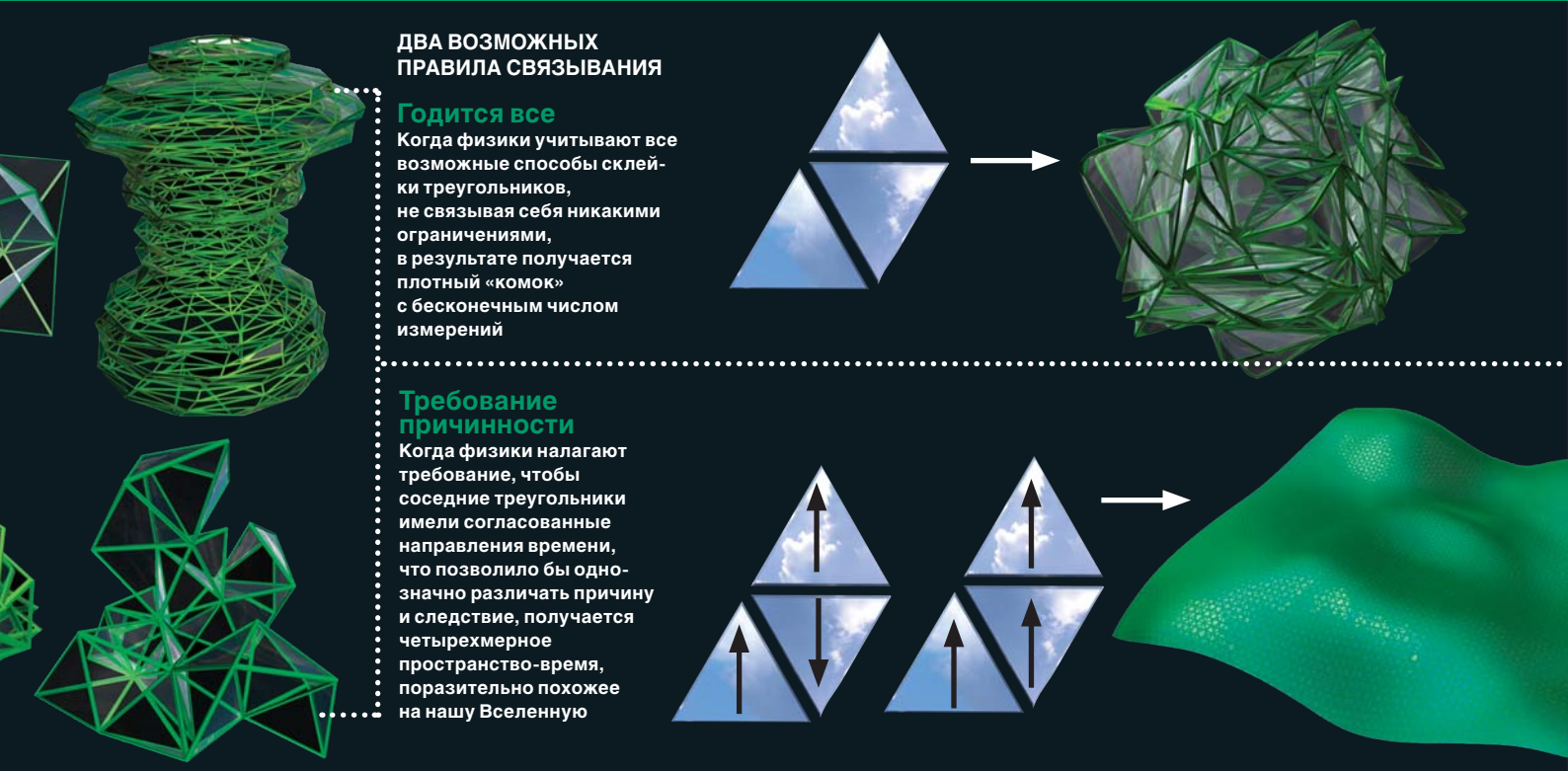
Прежде чем еще раз вернуться к допущениям, которые завели физиков в тупик, давайте рассмотрим одну странность полученного результата. «Кирпичики» четырехмерны, но в совокупности образуют либо пространство с бесконечным множеством измерений (сжизненная вселенная), либо двухмерное

пространство (вселенная-полимер). Как только допущение о больших квантовых флуктуациях вакуума выпустило джинна из бутылки, возникла возможность изменять самые фундаментальные понятия, например размерность. Возможно, классическая теория гравитации, в которой число измерений всегда считается определенным, не могла предвидеть такого результата.

Одно из следствий может несколько разочаровать любителей научной фантастики. Писатели-фантасты часто используют концепцию пространственно-временных туннелей, будто бы позволяющих сблизить между собой области, далеко отстоящие друг от друга. Они покоряют перспективной возможностью путешествий во времени и передачи сигналов со скоростью, превышающей скорость света. Несмотря на то что ничего подобного никогда не наблюдалось, физики допускают, что подобные туннели могут оказаться реабилитированными в рамках еще не созданной теории квантовой гравитации. В свете отрицательного результата компьютерного моделирования евклидовой квантовой гравитации возможность существования таких туннелей представляется крайне маловероятной. Пространственно-временные туннели имеют такое множество вариантов, что они должны преобладать в суперпозиции, делая ее неустойчивой, так что квантовая вселенная

ОБ АВТОРАХ

Ян Амбьорн (Jan Ambjorn), **Рената Лолл** (Renate Loll) и **Ежи Юркевич** (Jerzy Jurkiewicz) разработали свой подход к проблеме квантовой гравитации в 1998 г. Амбьорн — член Королевской Датской академии, профессор института Нильса Бора в Копенгагене и Утрехтского университета в Нидерландах. Он известен как мастер тайской кухни — обстоятельство, которое издатели стремятся отметить в первую очередь. Рената Лолл занимает пост профессора Утрехтского университета, где она возглавляет одну из крупнейших в Европе групп, занимающихся исследованиями в области квантовой гравитации. Ранее работала в Институте физики гравитации Макса Планка в Гольме (Германия). В редкие часы досуга играет камерную музыку. Ежи Юркевич возглавляет отдел теории сложных систем в Физическом институте Ягеллонского университета в Кракове. В числе его прежних мест работы — Институт Нильса Бора в Копенгагене, где он был покорен красотой парусного спорта.



никогда не сможет вырасти за пределы маленькой, но очень сильно взаимосвязанной общности.

В чем может быть корень бед? В поисках брешей и «свободных концов» евклидова подхода мы пришли к ключевой идее — одному компоненту, абсолютно необходимому для возможности приготовления нашего смешанного жаркого: код вселенной должен включать в себя принцип причинности, т.е. структура вакуума должна обеспечивать возможность однозначного различения причины и следствия. Причинность — неотъемлемая часть классических частной и общей теорий относительности.

В евклидову квантовую гравитацию причинность не включена. Определение «евклидова» означает, что пространство и время считаются равнозначными. Вселенные, входящие в евклидову суперпозицию, имеют четыре пространственных измерения вместо одного временного и трех пространственных. Поскольку евклидовы вселенные не имеют

отдельного понятия времени, в них нет структуры, позволяющей располагать события в определенном порядке. У жителей таких вселенных не может быть понятий «причина» и «следствие». Хокинг и другие ученые, использующие евклидов подход, говорили, что «время мнимо» как в математическом, так и в разговорном смысле. Они надеялись, что причинность возникнет как макроскопическое свойство из микроскопических квантовых флуктуаций, не имеющих по отдельности признаков причинностной структуры. Однако компьютерное моделирование перечеркнуло их надежды.

Вместо пренебрежения причинностью при соединении отдельных вселенных в расчете на то, что она возникнет в результате коллективной мудрости суперпозиции, мы решили включить причинностную структуру на гораздо более раннем этапе. Свой метод мы назвали динамической триангуляцией. Мы приписали каждому симплексу стрелку времени, направленную из про-

шлого в будущее. Затем мы ввели причинностное правило «склейки»: два симплекса должны склеиваться таким образом, чтобы их стрелки были сонаправлены. Понятие времени в склеиваемых симплексах должно быть одинаковым: время с постоянной скоростью должно течь в направлении этих стрелок, никогда не останавливаясь и не обращаясь вспять. В ходе времени пространство должно сохранять свою общую форму, не распадаться на отдельные части и не создавать пространственно-временных туннелей.

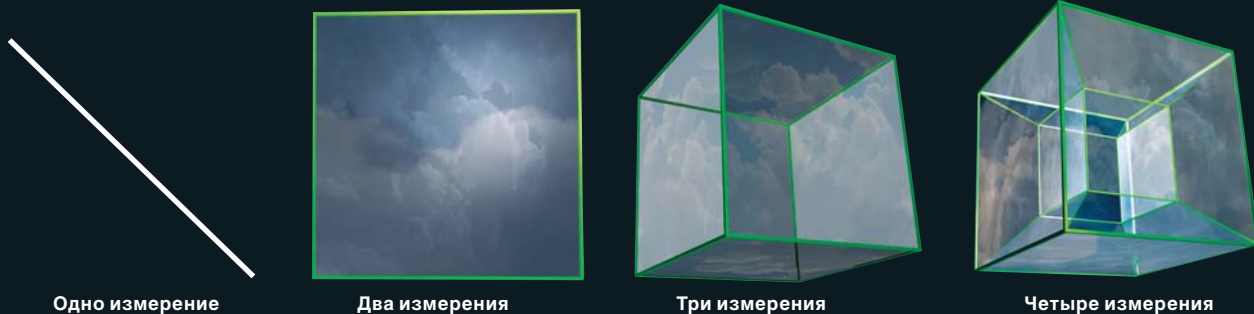
Сформулировав эту стратегию в 1998 г., мы показали на крайне упрощенных моделях, что правила склейки симплексов ведут к макроскопической форме, отличной от евклидовой квантовой гравитации. Это обнадеживало, но не означало, что принятые правила склейки достаточны для обеспечения устойчивости всей четырехмерной вселенной. Поэтому мы затаили дыхание, когда в 2004 г. наш компьютер был

СОВЕРШЕННО НОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ

В обычной жизни размерность пространства — это минимальное число измерений, необходимое для определения положения точки, например долгота, широта и высота. Это определение основано на допущении, что пространство непрерывно и подчиняется законам классической физики. А если пространство ведет себя не так просто? Что если

его форма определяется квантовыми процессами, которые в обычной жизни не проявляются? В таких случаях физики и математики должны разработать более сложное представление о размерности. Число измерений может даже не обязательно быть целым, как в случае фракталов — структур, имеющих одинаковый вид во всех масштабах

ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЕ РАЗМЕРНОСТИ



ФРАКТАЛЬНЫЕ РАЗМЕРНОСТИ



МНОЖЕСТВО КАНТОРА

Возьмите отрезок прямой, вырежьте из него среднюю треть, из каждой из оставшихся третей вырежьте ее среднюю треть, и так до бесконечности. Получаемый фрактал оказывается больше единичной точки, но меньше непрерывной линии. Его размерность по Хаусдорфу (ниже) равна 0,6309



ПРОКЛАДКА СЕРПИНСКОГО

Эта фигура — треугольник, из которого вырезаются все меньшие треугольники, — промежуточная между одномерной линией и двумерной поверхностью. Ее размерность по Хаусдорфу равна 1,5850



ГУБКА МЕНГЕРА

Этот фрактал представляет собой куб, из которого вырезаны меньшие кубы, и является поверхностью, простирающейся на часть объема. Ее размерность по Хаусдорфу равна 2,7268, что близко к размерности человеческого мозга

ОБОБЩЕННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ

Размерность по Хаусдорфу

Определение, сформулированное в начале XX в. немецким математиком Феликсом Хаусдорфом, исходит из зависимости объема V области от ее линейного размера r . В обычном трехмерном пространстве V пропорционально r^3 . Показатель степени в этой зависимости и есть число измерений. «Объемом» могут считаться и другие показатели общего размера, например площадь. В случае прокладки Серпинского V пропорционально $r^{1,5850}$. Это обстоятельство отражает тот факт, что данная фигура не заполняет всю площадь

Спектральная размерность

Данное определение характеризует распространение объекта или явления в среде в ходе времени, будь то капля чернил в сосуде с водой или заболевание в популяции. Каждая молекула воды или индивидум в популяции имеют определенное число ближайших соседей, которое и определяет скорость диффузии чернил или распространения заболевания. В трехмерной среде размер чернильного облака растет пропорционально времени в степени $3/2$. В прокладке Серпинского чернила должны просачиваться сквозь извилистую форму, поэтому распространяются медленнее — пропорционально времени в степени 0,6826, чему соответствует спектральная размерность 1,3652

Применение определений

В общем случае разные способы вычисления размерности дают разные числа измерений, поскольку исходят из различных характеристик геометрии. Для некоторых геометрических фигур число измерений не постоянно. В частности диффузия может быть более сложной функцией, чем время в некоторой постоянной степени.

При моделировании квантовой гравитации упор делается на спектральную размерность. В один элементарный кирпичик модели квантового пространства-времени вводится малое количество некоей субстанции. Из этого кирпичика она распространяется случайным образом. Общее число кирпичиков пространства-времени, которых эта субстанция достигает за некоторый период времени, и определяет спектральную размерность

почти готов дать нам первые расчеты причинностной суперпозиции четырехмерных симплексов. Будет ли это пространство-время вести себя на больших расстояниях как протяженный четырехмерный объект, а не как сморщенный шар или полимер?

Представьте себе наш восторг, когда число измерений расчетной вселенной оказалось равным 4 (точнее, $4,02 \pm 0,1$). Это был первый случай вывода числа измерений, равного наблюдаемому, из основных принципов. Сегодня ввод понятия причинности в модели квантовой гравитации является единственным известным способом справиться с неустойчивостями суперпозиции пространственно-временных геометрий.

Пространство-время в целом

Упомянутое моделирование было первым в продолжающейся серии вычислительных экспериментов, в ходе которых мы пытаемся вывести физические и геометрические свойства квантового пространства-времени посредством компьютерного моделирования. Нашим следующим шагом было исследование формы пространства-времени на больших расстояниях и проверка ее соответствия реальному миру, т.е. предсказаниям общей теории относительности. В случае невозмущающих моделей квантовой гравитации, не содержащих априорного предположения о форме пространства-времени, такая проверка очень трудна — настолько, что в большинстве подходов к квантовой гравитации, включая теорию струн, кроме частных случаев, достигнутые успехи недостаточны для ее проведения.

Как выяснилось, для того чтобы наша модель могла работать, необходимо с самого начала ввести так называемую космологическую постоянную — невидимую и нематериальную субстанцию, содержащуюся в пространстве даже при отсутствии каких-либо других форм материи и энергии. Такая необходимость стала хорошей ново-

УГЛУБЛЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

Согласно расчетам авторов, спектральная размерность пространства-времени убывает с четырех (в пределе крупного масштаба) до двух (в пределе мелкого масштаба), и непрерывное пространство-время разбивается, превращаясь в разветвленный фрактал. Физики пока не могут понять, означает ли этот вывод, что в итоге пространство-время состоит из локализованных «атомов», или же оно строится из микроскопических структур, очень слабо связанных с обычным понятием геометрии

СПЕКТРАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ



Квантовое пространство-время может быть подобно снежинке, фрактальной в малых масштабах...

... но гладким и полностью трехмерным в больших масштабах



стью, так как космологи нашли экспериментальное подтверждение существования этой постоянной. Более того, полученная форма пространства-времени соответствовала геометрии де Ситтера, т.е. решению уравнений Эйнштейна для вселенной, не содержащей ничего, кроме космологической постоянной. Поистине замечательно, что составление ансамбля из микроскопических «кирпичиков» практически случайным образом — без каких-либо предположений о симметрии или предпочтительной геометрической структуре — привело к пространству-времени, имеющему в больших масштабах высоко симметричную форму вселенной де Ситтера.

Динамическое возникновение четырехмерной вселенной практи-

чески правильной геометрической формы из основных принципов стало центральным достижением нашего моделирования. Вопрос о том, можно ли понять этот выдающийся результат в рамках представлений о взаимодействии неких еще не установленных «атомов» пространства-времени, и есть цель наших продолжающихся исследований.

Поскольку мы убедились, что наша модель квантовой гравитации прошла ряд классических проверок, пришло время обратиться к экспериментам иного рода — выявлению отличительной квантовой структуры пространства-времени, которую классическая теория Эйнштейна выявить не смогла. В одном из таких экспериментов мы моделировали процесс диффузии: вве-

ЧТО ТАКОЕ ПРИЧИННОСТЬ?

Причинность — это принцип, гласящий, что события происходят в определенной последовательности во времени, а не в беспорядке, что позволяет различать причину и следствие. В подходе к квантовой гравитации, принятом авторами, отличие причины от следствия выступает как фундаментальное по своей природе, а не выведенное свойство



ли в суперпозицию вселенных подходящий аналог чернильной капли и наблюдали, как она распространяется и возмущается квантовыми флуктуациями. Нахождение размера чернильного облака по прошествии некоторого времени позволяло нам определить число измерений в пространстве (врезка на стр. 25).

Результат оказался ошеломляющим: число измерений зависит от масштаба. Иными словами, если диффузия продолжалась короткое время, то число измерений пространства-времени оказывалось иным, чем когда процесс диффузии шел долгое время. Даже те из нас, кто специализировался на квантовой гравитации, с трудом могли вообразить, как могло число измерений пространства-времени непрерывно изменяться в зависимости от разрешения нашего «микроскопа». Очевидно, пространство-время для малых объектов сильно отличается от такового для больших. Для малых объектов вселенная подобна фрактальной структуре — необычному виду пространства, в котором понятия размера просто не существует. Оно самоподобно, т.е. выглядит одинаковым во всех масшта-

бах. Это значит, что не существует каких-либо объектов характеристического размера, которые могли бы служить чем-то вроде масштабной линейки.

Насколько мало это «малое»? Вплоть до размера около 10^{-34} м квантовая вселенная в целом хорошо описывается классической четырехмерной геометрией де Ситтера, хотя с уменьшением расстояния роль квантовых флуктуаций возрастает. Тот факт, что классическое приближение остается пригодным вплоть до столь малых расстояний, удивителен. Из него вытекают очень важные следствия как для самых ранних этапов истории вселенной, так и для ее очень отдаленного будущего. В обоих этих пределах вселенная практически пуста. На самом начальном этапе квантовые флуктуации были столь велики, что материя едва обнаруживалась. Она была крошечным плотом в волнующемся океане. Через миллиарды лет после нас из-за быстрого расширения Вселенной вещество окажется настолько разреженным, что будет играть очень малую роль или даже вовсе не будет играть роли. Наш подход позволяет объяснить форму пространства в обоих предельных случаях.

В еще меньших масштабах квантовые флуктуации пространства-времени возрастают настолько, что классические интуитивные представления о геометрии полностью теряют смысл. Число измерений уменьшается с классических четырех примерно до двух. Однако, насколько мы можем судить, пространство-время остается непрерывным и не содержит каких-либо туннелей. Оно не столь экзотично, как бурлящая пространственно-временная пена, какой его видели физик Джон Уиллер (John Wheeler) и многие другие. Геометрия пространства-времени подчиняется необычным и неклассическим законам, но понятие расстояния остается применимым. Сейчас мы пытаемся проникнуть в область еще меньших масштабов. Одна из возможностей состоит в том, что все-

ленная становится самоподобной и при всех масштабах, меньших некоего предела, выглядит одинаково. Если так, то вселенная не состоит из струн или атомов пространства-времени, а является миром бесконечной скуки: структура, найденная чуть ниже порога, по мере углубления в область все меньших размеров будет просто до бесконечности повторять себя.

Как смогут физики обойтись меньшим числом составляющих и технических средств, чем использовали мы для построения квантовой вселенной с реалистическими свойствами, трудно представить. Нам еще предстоит провести много проверок и экспериментов, например для того чтобы понять поведение вещества во Вселенной и его влияние на ее общую форму. Наша главная цель, как в случае любой теории квантовой гравитации, состоит в предсказании поддающихся наблюдению следствий, выведенных из микроскопической квантовой структуры. Это будет решающим критерием правильности нашей модели как теории квантовой гравитации. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Deriving Dimensions. Adrian Cho in Physical Review Focus; September 28, 2004. <http://focus.aps.org/story/v14/st13>
- Planckian Birth of a Quantum de Sitter Universe. J. Ambjorn, A. Gorlich, J. Jurkiewicz and R. Loll in Physical Review Letters, Vol. 100, Article No. 091304; March 7, 2008. Есть препринт на arxiv.org/abs/0712.2485
- The Complete Idiot's Guide to String Theory. George Musser. Alpha, 2008.
- The Emergence of Spacetime, or, Quantum Gravity on Your Desktop. R. Loll in Classical and Quantum Gravity, Vol. 25, No. 11, Article No. 114006; June 7, 2008. arxiv.org/abs/0711.0273
- Веб-сайт Ренаты Лолл: www.phys.uu.nl/~loлл

V МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
НАНОИНДУСТРИИ



10-12 **NTMEX** 08

ноября 2008 года

Здание Правительства Москвы
Универсальный выставочный зал
Москва, Новый Арбат, 36/9

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

Технологии и оборудование
для производства наноматериалов

Наноматериалы и нанотехнологии

Услуги в области нанотехнологии

Модули и оригинальные компоненты
на основе наноматериалов

Наноматериалы для компонентов
и микросистем

Применение нанотехнологий
в областях городского хозяйства

Нанотехнологии в фармацевтике

Продукция с использованием
нанотехнологий и наноматериалов

Организатор

ООО «Компания МКМ ПРОФ»

При поддержке

Департамента науки и промышленной
политики города Москвы

Дирекция

Тел./факс: (495) 502-19-38,
(499) 788-2140, 788-2141, 788-2142
E-mail: mkmprof@mail.ru

www.ntmex.ru



НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ танца

Стивен Браун и Лоренс Парсонс

Новые томографические исследования показали, что за нашей способностью танцевать скрывается сложнейшая нейронная хореография

Наше чувство ритма столь естественно, что большинство из нас воспринимают его как нечто само собой разумеющееся: услышав музыку, мы начинаем неосознанно постукивать ногой или покачиваться из стороны в сторону, причем сами того не замечая. Однако каково бы ни было предназначение данного инстинкта, он представляет собой нечто новое в эволюции. Ни

у млекопитающих, ни у каких-либо других представителей царства животных ничего подобного не наблюдается. Мы оказываемся подсознательно захваченными ритмом, и такая способность лежит в основе танца — сплава движения, ритма и жестов. Танец сопровождается большей синхронизацией в группе людей, чем какая-либо другая человеческая деятельность; он требует такой степени координации

между людьми во времени и пространстве, которая не возникает практически ни в каком другом социальном контексте.

Несмотря на то что танец представляет собой фундаментальную форму самовыражения людей, нейрофизиологи уделяли ему очень мало внимания. Однако недавно ученые провели первые томографические исследования как профессиональных танцоров, так

и любителей. Были поставлены принципиальные вопросы. Как танцоры ориентируются в пространстве? Как они выбирают темп своих шагов? Как люди обучаются сложным последовательностям движений, образующим фигуры танца? Полученные результаты позволяют составить некоторое представление о сложнейшей мозговой координации, требующейся для выполнения даже самых простых танцевальных движений.

Поймать ритм

Нейрофизиологи уже давно изучают такие простые движения, как, например, вращение в лодыжке или постукивание пальцем. Из этих работ мы в целом уже знаем, как мозг управляет простейшими действиями. Однако для того чтобы только лишь попрыгать на одной ноге — даже если не пытаться при этом одновременно еще и похлопывать себя по голове — нужно провести вычисления в сенсомоторной системе, учитывающие окружающее пространство, силу гравитации и поддержание равновесия, намерение и привязку ко времени, равно как и множество других факторов. Если несколько упростить картину, то получится, что область мозга, называемая задней теменной корой (ближе к задней стороне мозга), переводит зрительную информацию в двигательные команды и посылает сигналы вперед к областям, ответственным за планирование движений — в премоторную кору и дополнительную моторную область. Далее сформированные команды передаются в первичную моторную кору, которая генерирует нервные импульсы, идущие в спинной мозг и затем к мышцам, заставляя их сокращаться (*врезка на следующей стр.*).

В то же самое время сенсорные органы в самих мышцах обеспечивают обратную связь с мозгом, информируя его о точном расположении частей тела в пространстве с помощью сигналов, идущих по нервным волокнам через спинной мозг к коре больших полушарий. Подкорковые структуры — мозжечок на задней

стороне мозга и базальные ганглии в его глубине — также помогают корректировать двигательные команды на основе сенсорной обратной связи и обеспечивают большую точность производимых движений. Способны ли эти механизмы обеспечить столь грациозное движение, как, скажем, танцевальный пируэт, остается пока неясным.

Чтобы исследовать данный вопрос, мы провели первое томографическое исследование танцевальных движений. В сотрудничестве с нашим коллегой Майклом Мартинесом (Michael J. Martinez) из Центра наук о здоровье при Техасском университете в Сан-Антонио, мы пригласили в качестве испытуемых непрофессиональных танцоров танго. Было проведено сканирование мозга пяти мужчин и столько же женщин с помощью позитронно-эмиссионного томографа (ПЭТ), который регистрирует изменения мозгового кровотока, возникающие как следствие изменения активности мозга. Исследователи интерпретируют усиление кровотока в какой-либо области мозга как признак большей активации располагающихся в ней нейронов. Наши испытуемые лежали на спине внутри сканера, и их головы фиксировались, однако они могли шевелить ногами и водить ими по наклонной поверхности (*врезка на стр. 29*). Сначала мы просили их выполнять ногами «квадрат» из классической салиды (*первые восемь базовых шагов танго. — Прим. пер.*) аргентинского танго, причем движения нужно было выполнять под записи инструментальной музыки танго, которую испытуемые прослушивали через наушники. Затем мы проводили сканирование



НОВОЕ СВОЙСТВО ТАНГО

В 2007 г. Гэммон Иерхарт (Gammon M. Earhart) и Маделейн Хэкни (Madeleine E. Hackney) из Медицинской школы Вашингтонского университета в Сент-Луисе обнаружили, что исполнение танго улучшало подвижность у пациентов, страдающих от болезни Паркинсона. Исследователи обнаружили, что после 20 танцевальных занятий танго больные стали реже испытывать так называемые «заморозки». В сравнении с другими пациентами, посещавшими физкультурные занятия, «танцоры» лучше поддерживали равновесие и получали более высокие баллы в тесте «Встаньте и идите», который позволяет выявить тех больных, для которых велик риск падения

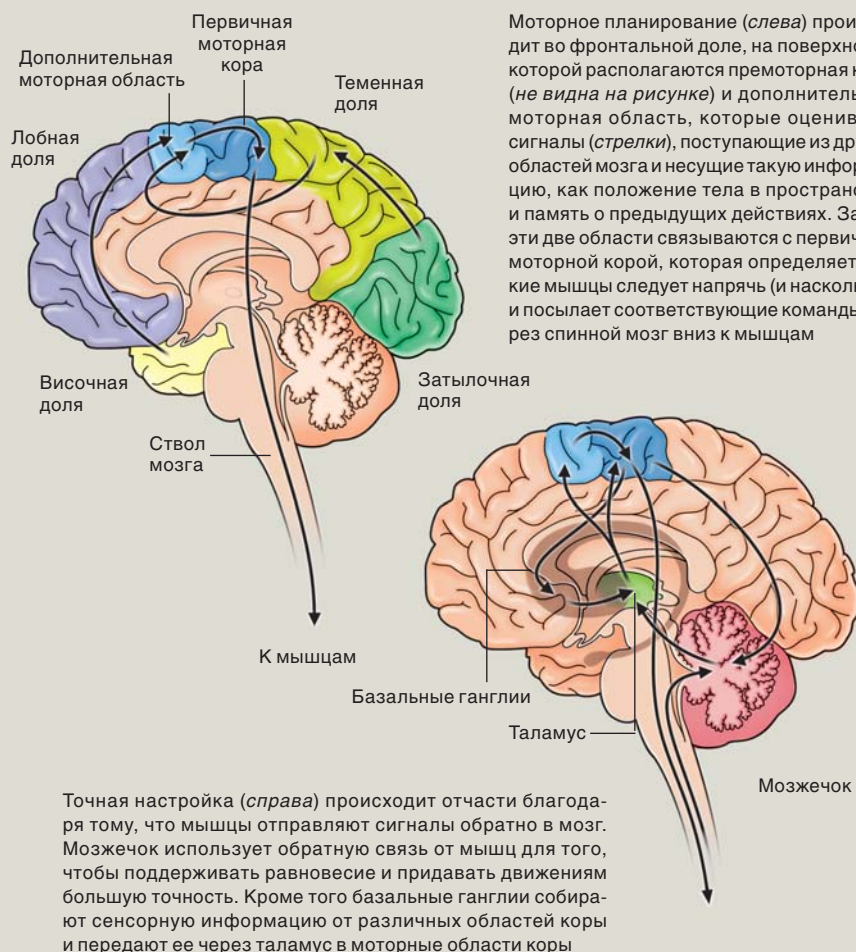
в другой ситуации, когда наши танцоры просто напрягали мышцы ног в такт музыке, но движений не производили. Вычитая активность мозга, вызванную простым напряже-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Танец представляет собой фундаментальную форму самовыражения людей, которая, вероятно, развилась совместно с музыкой как способ рождения ритма.
- Танец требует специализированных навыков, обеспечиваемых мозгом. Одна область мозга отображает положение тела, помогая направлять наши движения в пространстве; другая обеспечивает синхронизацию, позволяя нам двигаться под музыку.
- Музыкальный ритм захватывает нас, и мы неосознанно начинаем постукивать ногой — так проявляется наша инстинктивная склонность к танцу. Это становится возможным благодаря тому, что определенные подкорковые области мозга обмениваются информацией, минуя высшие слуховые области.

ДВИЖУЩИЕ ЧАСТИ МОЗГА

Для того чтобы выявить области мозга, управляющие танцем, исследователям прежде всего нужно было понять, как мозг позволяет нам выполнять произвольные движения. Здесь представлена упрощенная схема процесса



нием мышц, из активности во время «танца», мы смогли выявить области мозга, необходимые для того, чтобы направлять ноги в пространстве и создавать конкретные последовательности движений.

Как и предполагалось, вычитание позволило исключить из рассмотрения многие базовые моторные области мозга. Осталась, однако, та часть теменной коры, которая участвует в восприятии пространства и ориентации в нем как у людей, так и у других млекопитающих. Во время танца восприятие пространства преимущественно кинестетическое: вы ощущаете положение своего туловища и конечностей в любой

момент времени, даже если ваши глаза закрыты, что становится возможным благодаря сенсорным образованиям в мышцах. Эти органы передают в мозг информацию об угле поворота в каждом суставе, о натяжении каждой мышцы, и на этой основе мозг создает отчетливое представление о положении всего тела и его частей. Если говорить точнее, то мы видели активацию предклинья — области теменной доли, располагающейся рядом с местом, где находится кинестетическое представление ног. Мы полагаем, что предклинья содержит кинестетическую карту, позволяющую людям ощущать положение своего

тела в пространстве при перемещении среди окружающих объектов.

Независимо от того, вальсируете ли вы или просто идете по прямой линии, предклинья помогает наметить путь, причем выполняет свои расчеты относительно центра вашего тела, т.е. в так называемой «эго-центрической» системе координат.

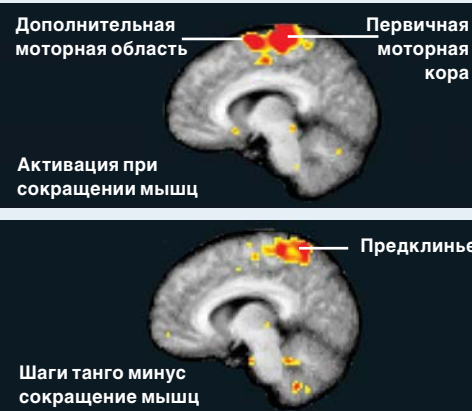
Затем мы сравнили картины активности мозга, полученные во время танца, с томограммами, взятыми при выполнении испытуемыми движений танго в отсутствие музыки. Исключив участки мозга, активировавшиеся в обеих ситуациях, мы надеялись выявить области, необходимые для синхронизации движений с музыкой. И снова вычитание исключило практически все двигательные области мозга. Основное различие наблюдалось в той части мозжечка, которая получает вход от спинного мозга, — в передней части червя. Несмотря на то что данная область была задействована в обеих ситуациях, танцевальные движения, синхронизированные с музыкой, приводили к значительно более выраженному усилению кровотока в этой области, чем те же движения, но выполняемые испытуемыми в собственном ритме.

Предварительные результаты подтверждают гипотезу, согласно которой данная часть мозжечка служит своего рода дирижером, наблюдающим за информацией от различных областей мозга и помогающим согласовывать выполняемые действия (см.: Бауэр Д., Парсонс Л. Этот загадочный мозжечок // ВМН, 2003, № 10). Мозжечок в целом хорошо удовлетворяет критериям нейронного метронома: он получает множество сенсорных входов от слуховой, зрительной и соматосенсорной кортикальных систем (это необходимо для того, чтобы можно было подстраивать движения к разнообразным сигналам, от звуков до зрительных стимулов и прикосновений), и содержит сенсомоторное отображение всего тела.

Неожиданно второй анализ пролил свет на естественную склонность людей неосознанно постуки-

ПРИЧУДЛИВАЯ РАБОТА НОГАМИ

Для того чтобы выявить области мозга, важные для танца, авторы обратились к исполнителям танго с предложением пройти обследование на томографе. Испытуемых попросили занять в нем горизонтальное положение, а их голову зафиксировали. Они прослушивали музыку в ритме танго через наушники и двигали ногами по наклонной поверхности (фото)



В одном из таких экспериментов аппарат производил сканирование мозга при двух различных условиях: когда танцоры напрягали мышцы ног в такт музыке, но не двигали конечностями, и когда испытуемые выполняли основные шаги танго (врезка) ногами, опять же в такт музыке. Когда авторы вычли активность мозга, связанную с простым напряжением мышц (верхняя томограмма), из результатов, полученных при исполнении танго, то выделенной осталась часть теменной коры под названием предклинье (нижняя томограмма)

вать ногой в такт музыке. При сравнении томограмм, полученных при синхронизированных движениях и движениях, выполняемых в собственном ритме, мы обнаружили, что относительно низкий уровень слухового пути, а именно подкорковая структура, называемая медиальным коленчатым телом (МКТ), высвечивалась лишь в первом случае. Сначала мы решили, что этот результат просто отражал наличие звукового стимула — т.е. музыки — в условиях синхронизации, однако проведенное дополнительно сканирование мозга заставило нас отвергнуть данную интерпретацию: когда наши испытуемые слушали музыку, но не двигали при этом ногами, мы не обнаруживали никаких изменений кровотока в МКТ.

Таким образом, мы заключили, что активность в МКТ была специфическим образом связана с синхронизацией, а не просто с прослушиванием музыки. Данное открытие позволило нам сформулировать гипотезу, согласно которой при неосознанном подчинении ритму слуховая информация попадает непо-

средственно в мозжечок, минуя вышние уровни — слуховые области коры больших полушарий.

Вы полагаете, что умеете танцевать?

Когда мы наблюдаем и разучиваем танцевальные движения, то вовлекаются и другие области мозга. Беатрис Кальво-Мерино (Beatriz Calvo-Merino) и Патрик Хаггард (Patrick Haggard) из Лондонского университета исследовали вопрос, активируются ли определенные области мозга, когда люди наблюдают выполнение другими исполнителями танцевальных движений, которыми они сами владеют. Или, иначе говоря, есть ли такие области мозга, которые включаются у балетных танцоров, когда те смотрят балет, а не, скажем, капоэйру (афро-бразильское боевое искусство, выглядящее как танец и исполняемое под музыку)?

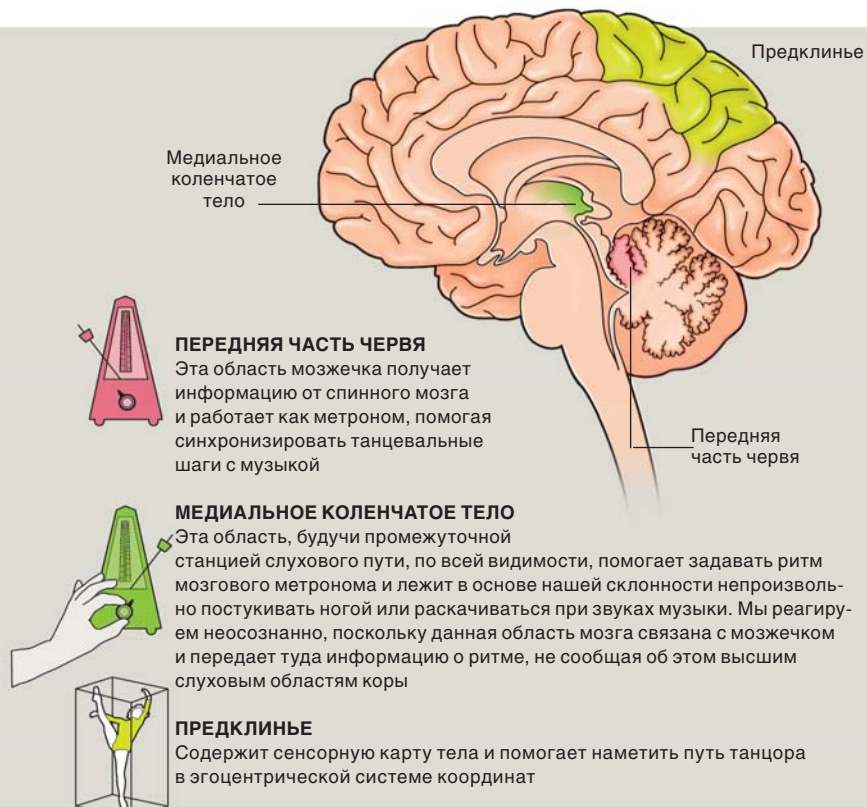
Для выяснения данного вопроса группа ученых воспользовалась функциональной магниторезонансной томографией и провела исследование мозга балетных танцоров,

капоэйристов и людей, не владеющих танцем, в то время как те смотрели трехсекундные видеоклипы без звука, представлявшие балетные па или движения боевого искусства. Исследователи обнаружили, что наличие собственного опыта у испытуемых оказывало сильное влияние на активацию премоторной коры: активность в ней повышалась лишь в тех случаях, когда участники эксперимента наблюдали за танцем, который они сами могли исполнить. Данный факт объясняет другая работа. Ученые выявили: когда люди следят за простыми действиями, в премоторной коре включаются области, участвующие в выполнении данных движений, что свидетельствует о том, что мы мысленно повторяем то, что видим, и это наверняка помогает нам разучивать и понимать новые движения. В настоящее время исследователи изучают, насколько велико для человека значение подобной мысленной имитации.

В последующей работе Кальво-Мерино со своими коллегами сравнила активность в мозге балетных исполнителей мужского и женско-

ХОРЕОГРАФИЯ В ГОЛОВЕ

Авторы обнаружили, что следующие области мозга принимают участие в танце, выходящее за пределы простого управления движениями



го пола в то время как те наблюдали видеозаписи, на которых либо танцоры, либо танцовщицы выполняли движения, встречающиеся соответственно только в мужских или женских партиях. И снова наибольший уровень активности в премоторной коре встречался в тех случаях, когда мужчины видели мужские балетные па, а женщины, соответственно, — женские.

Способность мысленно воспроизводить движения абсолютно необ-

ходима для обучения двигательным навыкам. В 2006 г. Эмили Кросс (Emily S. Cross) и Скотт Графтон (Scott T. Grafton) из Дартмутского колледжа занялись вопросом, усиливается ли активность в областях, ответственных за мысленную имитацию, непосредственно в момент обучения. На протяжении нескольких недель исследователи проводили еженедельное томографическое исследование мозга танцоров, которые разучивали сложную после-

довательность движений современного танца. Во время сканирования их мозга испытуемые смотрели пятисекундные клипы, в которых были показаны либо те движения, которые они осваивали, либо совершенно иные. После каждого видеофрагмента участники оценивали, насколько хорошо, по их мнению, они смогли бы выполнить те движения, которые только что видели. Полученные данные подтвердили результаты Кальво-Мерино и ее коллег. Активность в премоторной коре повышалась во время обучения и действительно коррелировала с оценками самих испытуемых того, смогли бы они выполнить данный фрагмент танца.

Оба исследователя подчеркивают тот факт, что обучение сложной последовательности движений активизирует помимо моторной системы мозга, управляющей сокращениями мышц, также и систему двигательного планирования, которая несет информацию о способности выполнить каждое конкретное движение. Чем лучше человек освоил какое-либо сложное па, тем легче ему вообразить себе, что он будет ощущать при его выполнении, и, вероятно, тем легче становится его исполнить на практике.

Наше исследование показывает, что способность проиграть в уме последовательность танцевальных движений — или теннисную подачу, или удар в гольфе — не основывается на одном лишь зрении, как могло бы показаться из описанных выше работ, а в равной мере является также и кинестетической. Истинное освоение движения требует ощущения своих мышц — двигательного образа, который формируется в областях мозга, ответственных за планирование движения.

ОБ АВТОРАХ

Стивен Браун (Steven Brown) — директор лаборатории NeuroArts Lab кафедры психологии, нейронауки и поведения в Университете МакМастера в Онтарио. Его исследования направлены на изучение мозговых механизмов человеческого общения, включая речь, музыку, жесты, танец и эмоции. **Лоренс Парсонс** (Lawrence M. Parsons) — профессор кафедры психологии в Шеффилдском университете в Англии. Его исследования охватывают изучение функций мозжечка и нейрофизиологию выступления дуэтом, очередности в разговоре и дедуктивного умозаключения.

Социальная роль танца

Возможно, самый интригующий вопрос для нейрофизиолога состоит в том, почему вообще люди танцуют. Очевидно, что музыка и танец тесно связаны друг с другом; часто бывает, что сам по себе танец рождает звук. Ацтекские дан-

сантес в Мехико надевают гетры, на которых закреплены плоды дерева айойотль, называемые чачайотес, которые при каждом шаге производят характерный звук. Во многих культурах люди во время танца надевают на себя или прикрепляют к своей одежде различные приспособления, производящие шум — от колотушек до кастаньет и четок. Кроме того танцоры обычно хлопают, щелкают и топают. Основываясь на этом, мы выдвинули гипотезу «телесной перкуссии», согласно которой танец развился изначально как процесс извлечения звуков. Мы также предположили, что танец и музыка, в особенности игра на ударных инструментах, развились совместно как дополняющие друг друга способы рождения ритма. Первые ударные инструменты вполне могли быть украшениями танцоров — наподобие ацтекских чачайотес.

Однако в отличие от музыки танец имеет огромные возможности для изображения и подражания, что указывает на его возможность играть роль ранней формы речи. В самом деле, танец по сути дела является жестовым языком. Интересно отметить, что при выполнении испытуемыми любых двигательных заданий в нашем исследовании мы видели активацию области правого полушария, симметричной по отношению к области Брока левого полушария. Область Брока расположена в лобной доле, согласно классическим представлениям ее связывают с произнесением, речи. В последние десять лет было выявлено, что область Брока также содержит представительство рук.

Данные открытия подтверждают так называемую жестовую теорию эволюции речи, сторонники которой утверждают, что речь изначально возникла как жестовая система, и лишь позднее стала звуковой. Наше исследование показало, что движения ногами активируют правополушарный гомолог области Брока, и это служит доводом в поддержку идеи о том, что танец появился как форма репрезентативной коммуникации.



На ацтекских дансantes в Мехико надеты гетры с чачайотес, которые гремят при каждом шаге. Во многих культурах танцоры надевают на тело и перекрепляют к одежде различные звучащие предметы. Вероятно, танец и музыка развились совместно как способ рождения ритма. Однако в отличие от музыки с помощью танца можно ясно выразить свои мысли

Однако какова же может быть роль гомолога области Брока в танце? В 2003 г. Марко Якобони (Marco Iacoboni) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе применил магнитную стимуляцию мозга для того чтобы нарушать работу либо самой зоны Брока, либо ее гомолога. В обоих случаях у испытуемых ухудшалась способность копировать движения пальцами правой руки. Группа Якобони пришла к выводу, что данные области чрезвычайно важны для подражания, которое является ключевым компонентом обучения и необходимо для распространения культуры. Мы же выдвигаем свою гипотезу. Хотя в нашем исследовании не было подражательных движений как таковых, тем не менее как исполнение танго, так и повторение действий пальцами требуют, чтобы мозг в правильном порядке расположил отдельные компоненты движения.

Подобно тому, как область Брока по-зволяет нам правильно ставить друг за другом слова и фразы, ее гомолог, по-видимому, может соединять элементарные движения в плавную последовательность.

Мы надеемся, что последующие томографические исследования позволят заглянуть в мозговые механизмы, стоящие за танцем и его эволюцией, которая тесно переплетена с появлением как речи, так и музыки. Мы рассматриваем танец как союз репрезентативной емкости языка и ритмичности музыки. Такое взаимодействие позволяет людям не только рассказывать истории с помощью своего тела, но и делать это, синхронизируя свои движения с движениями других людей, что способствует социальному притяжению людей друг к другу. ■

Перевод: Б.В. Чернышев

Прамоод Шривастава

НОВЫЕ ФУНКЦИИ древних шаперонов



Белки теплового шока (шапероны) присутствуют в клетках абсолютно всех организмов и защищают их от всевозможных стрессов. Как оказалось, помимо давно известной функции они выполняют по крайней мере еще две: влияют на канцерогенез и активируют иммунную систему, что делает их потенциальными мишенями для лекарственных средств

Однажды в 1962 г. во время проведения опытов на плодовых мушках (дрозофилах) температура в инкубаторе с насекомыми поднялась выше положенного. Когда Ферручио Ритосса (Ferruccio Ritossa), молодой ученый из Института генетики в г. Павия (Италия), поместил под микроскоп клетки мушек, получивших «тепловой удар», он увидел на хромосомах «пуфы» — утолщения, свидетельствовавшие об активности находящихся в этих местах генов. Области утолщений получили название сайтов теплового шока.

Вначале считалось, что данный феномен характерен только для дрозофилы. И лишь через 15 лет белки, кодируемые генами в сайтах теплового шока (*HSP*, *heat shock protein*),

были обнаружены в клетках млекопитающих и других организмов. Но что самое удивительное — оказалось, что они играют ключевую роль в функционировании биологических систем всех уровней — от отдельных клеток до организмов и даже целых популяций.

Эти вездесущие белки являются самыми древними и консервативными среди всех белков. Считается даже, что они в какой-то степени руководят эволюционными процессами. Образуясь в условиях стресса (в частности при повышении температуры), *HSP* помогают клеткам поддерживать в рабочем состоянии все механизмы и избегать гибели. Десять лет назад биологи обнаружили, что у высших организмов, в том

числе у человека, *HSP* выполняют и другие важные функции. Они участвуют в работе иммунной системы, защищая организм от патогенов, и в то же время предотвращают апоптоз раковых клеток.

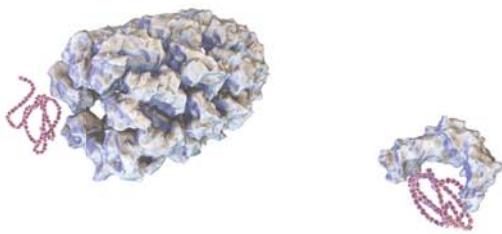
Для того чтобы понять, как можно использовать все многообразие свойств шаперонов на практике, следует разобраться в деталях их основной деятельности, которая заключается в «контроле качества» клеточных белков. Такая деятельность имеет две стороны: предотвращение нежелательных белковых взаимодействий и поощрение полезных, что обеспечивает образование прочных связей как между самими белками, так и между белками и их партнерами.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Белки-телохранители (шапероны), присутствующие в клетках всех без исключения организмов, сглаживают последствия стрессовых воздействий на клетки.
- Шапероны охотно вступают во взаимодействие с самыми разными пептидами и несут на себе «антигенный отпечаток» каждой клетки. Благодаря этому они принимают непосредственное участие в активации иммунной системы.
- Применение шаперонов в медицине предполагает подавление их активности в одних ситуациях и стимулирование — в других.

Надежное прикрытие

У многих внутриклеточных белков имеется всего один или совсем небольшое число «партнеров», с которыми они взаимодействуют. В качестве примера можно привести рецептор и его лиганд, подходящие друг к другу, как замок и ключ. На другие типы рецепторов данный лиганд не дей-

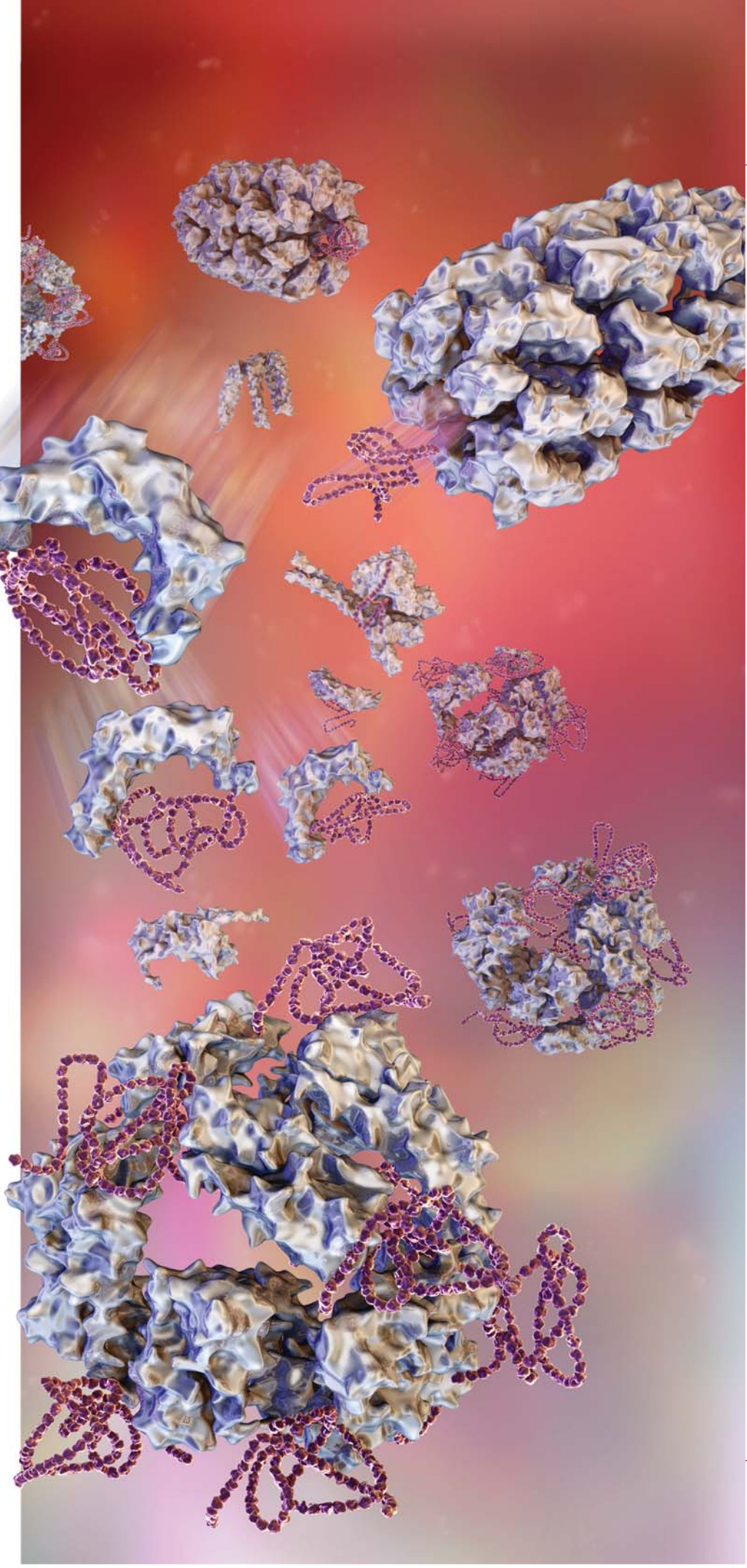


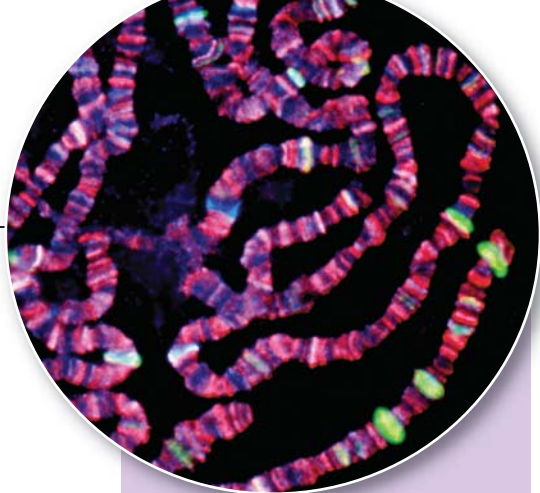
ствует, и каждый рецептор как правило активируется своим структурно близким лигандом или веществом. В отличие от этого, шапероны взаимодействуют с широким кругом белков, что позволяет им выполнять различную работу. Например, они помогают новосинтезированным аминокислотным цепочкам принимать правильную пространственную конфигурацию, при которой те могут выполнять свои функции; демонтируют поврежденные белковые молекулы; сопровождают белки к месту назначения, охраняя их от разного рода опасностей, и т.д.

Рассмотрим ряд примеров, иллюстрирующих, насколько важна каждая функция, и показывающих, как именно работают шапероны. Для того чтобы белок выполнил свою миссию, он должен не только оказаться в нужном месте в нужное время, но и «быть в форме», т.е. иметь подходящую конфигурацию. Только что сошедшей со «сборочного конвейера» (рибосомы) цепочке из аминокислот помогают разные факторы. Так, каждая ее аминокислота по-своему реагирует на водное окружение — цитоплазму. Гидрофобные аминокислоты стараются избежать контакта с водой и «прячутся» внутри белковой глобулы. В отличие от этого, гидрофильные аминокислоты предпочитают находиться в воде и выступают из глобулы наружу. Однако для обеспечения правильной пространственной укладки цепочки этого недостаточно, и здесь на помощь приходят шапероны, в частности *HSP60* (врезка на стр. 53).

В нашем понимании механизма действия *HSP60* мы во многом

Белки теплового шока (шапероны) способствуют правильной пространственной укладке белковых молекул, доставляют их к месту назначения, предотвращают нежелательные контакты с другими клеточными компонентами





РЕАКЦИЯ НА СТРЕСС

Хромосомы дрозофилы, получившей тепловой удар, утолщаются в местах расположения генов, кодирующих шапероны (белый и зеленый цвета). Для того чтобы клетка могла синтезировать белки, двойная спираль ДНК должна локально расплестись, открыв доступ к генам соответствующих ферментов. Такие локально расплетшиеся участки выглядят на рисунке как утолщения

обязаны Артуру Горвичу (Arthur L. Horwich) из Йельского университета. Он показал, что данный шаперон по своей структуре напоминает плод малины, состоящий из множества субъединиц. Его внутренняя полость высокогидрофобна и «втягивает» в себя гидрофобные аминокислоты еще не полностью свернувшейся белковой молекулы, заставляя последнюю изменить конфигурацию. Такой процесс может иметь многоступенчатый характер, полость многократно захватывает и отпускает белковую молекулу, оптимизируя ее форму. Благодаря своей способности укладывать правильным образом белковые глобулы шаперон *HSP60* получил название фолдазы (от англ. *to fold* — «укладывать, сворачивать»). Белок *HSP100* напротив называют антифолдазой (от *to unfold* — «разворачивать»). Он тоже имеет субъединичную структуру, и в сотрудничестве с шапероном *HSP70* демонтирует

белки, получившие необратимые повреждения, разрушает ошибочно образовавшиеся агрегаты и даже заставляет развернуться полностью упаковавшуюся молекулу.

В отличие от белков типа *HSP60*, большинство шаперонов не втягивают в себя субстрат, а «берут его в клещи» или «сажают на крючок». Например, у *HSP70* есть пептид-связывающая щель, находящаяся в открытом состоянии, когда этот шаперон не несет АТФ. В отсутствие АТФ щель схлопывается, обхватывает присоединившийся ранее короткий участок белковой молекулы и доставляет последнюю к месту назначения. Способность *HSP70* связываться с разными пептидами позволяет ему участвовать во множестве процессов, протекающих в клетке. Он помогает новосинтезированным полипептидам принимать биологически активную конформацию, облегчает сборку сложных белков, предотвращает их денатурацию при высоких температурах.

Белки теплового шока функционируют и в клетках, находящихся в обычных условиях, но насколько возрастает их роль, когда ситуация меняется! В экстремальных ситуациях — при очень высоких либо при очень низких температурах, кислородном голодании, дефиците воды и питательных веществ — клетка бросает все силы на то, чтобы выжить, и шапероны смягчают последствия стресса, спасая жизненно важные белки, демонтируя безнадежно поврежденные и повторно используя их компоненты. В условиях стресса клетке выгодно вырабатывать как можно больше шаперонов, свидетелем чего и стал молодой ученый Ритосса 46 лет

назад. А в 1980-х гг. ученые получили неопровержимые доказательства того, что шапероны способны на большее — они спасают не только клетки, но и организм в целом.

Антигенная дактилоскопия

В начале 1980-х гг., когда я был аспирантом Центра клеточной и молекулярной биологии в Хайдарабаде (Индия), меня заинтересовало одно явление, обнаруженное еще в 1940-х гг., но не нашедшее объяснения. В опытах на животных было неоднократно показано, что грызунам можно делать прививку против рака аналогично тому, как вакцинируют от инфекционных заболеваний. Вспомним, что белки патогена воспринимаются иммунной системой млекопитающих как чужаки, а раковые клетки образуются из нормальных клеток организма и никаких чужеродных антигенов не несут. Что же в таком случае вызывает иммунный ответ? На этот вопрос я и намеревался ответить.

В ходе работы над диссертацией я идентифицировал белок *gp96*, который мог отвечать за реакцию иммунной системы на раковые клетки. К моему удивлению, он оказался членом семейства шаперонов *HSP90*, присутствующих как в нормальных, так и в раковых клетках. Два года спустя независимо от меня этот же белок обнаружил Стивен Ульрих (Stephen J. Ullrich) из Национальных институтов здоровья. Аминокислотная последовательность *gp96*, выделенного из раковых клеток, ничем не отличалась от таковой обычного белка, так что он не был канцероспецифичным. Чем же определялась его способность вызывать иммунную реакцию?

Ответа пришлось ждать 10 лет. В 1990 г. Хэихиро Удоно (Heichiro Udonon), работавший в то время в моей лаборатории в Медицинской школе Синайские горы (Нью-Йорк), выделил из опухолевой ткани шаперон *HSP70*, намереваясь проверить, обладает ли он теми же свойствами, что и *HSP90*. Оказалось, что да. Но самое удивительное началось потом: когда мы использовали для очистки

ОБ АВТОРЕ

Прамод Шривастава (Pramod K. Srivastava) — профессор медицины, возглавляет Центр иммунотерапии рака и инфекционных заболеваний при Медицинской школе Коннектикутского университета. Пионер в области исследования роли белков теплового шока в активации иммунной системы. Один из основателей компании *Antigenics*, которая занимается созданием противораковой вакцины на основе шаперонов, полученных от больных раком. В настоящее время является научным консультантом компании и продолжает изучение роли шаперонов в работе иммунной системы.

HSP70 так называемую АТФ-аффинную хроматографию, его мощное иммуностимулирующее действие исчезло!

Мы сразу поняли, что при взаимодействии с АТФ *HSP70* утрачивает то самое вещество (по нашему предположению, пептид), которое наделяет его упомянутым свойством. В ходе дальнейших исследований выяснилось, что при таком взаимодействии изменяется конформация *HSP70*, и связывание его с каким-либо пептидом становится невозможным. На самом деле члены всех семейств шаперонов — *HSP60*, *HSP70* и *HSP90* — выполняли функции переносчиков пептидов, вырабатываемых клетками. Все эти белки, выделенные из раковых клеток либо клеток, зараженных каким-нибудь вирусом, возбудителем туберкулеза, другим инфекционным агентом, несли пептиды — сегменты соответствующих антигенов. Иными словами, *HSP*-ассоциированные пептиды представляли собой «антигенные отпечатки» клеток или тканей, из которых их выделили.

Способность некоторых шаперонов захватывать пептиды, специфичные для клеток-хозяев, сделала их участниками одного из основополагающих событий в работе иммунной системы, а именно — распознавания *T*-лимфоцитами антигенов на поверхности клеток. Почти все антигены, образуемые внутри клетки, распадаются на пептиды. Они связываются с шаперонами *HSP60*, *70* и *90* (последовательность этапов данного процесса пока не известна), а в конце концов — с особым типом белков, главным комплексом гистосовместимости I (*MHC I*, от *major histocompatibility complex I*), находящимся на поверхности большинства клеток млекопитающих. *T*-лимфоциты распознают комплекс *MHC*/пептид и вместе с другими компонентами иммунной системы разрушают дефектную клетку (врезка на следующей стр.).

Сам *MHC I* никакими антигенными свойствами не обладает и *T*-клетками не распознается. Гипотеза об участии связанных с *HSP* пептидов в презентации антигенов была вы-

сказана мною в 1994 г. и получила экспериментальное подтверждение.

Именно способность *HSP* связывать специфические пептиды раковых и инфицированных клеток лежит в основе иммуностимулирующего действия выделенных из раковых клеток *HSP*. Но у комплекса *HSP*/пептид есть и другая функция: взаимодействуя с антигенпредставляющими клетками иммунной системы, они способствуют распознаванию *T*-клетками своих и чужих антигенов.

Сигнал тревоги

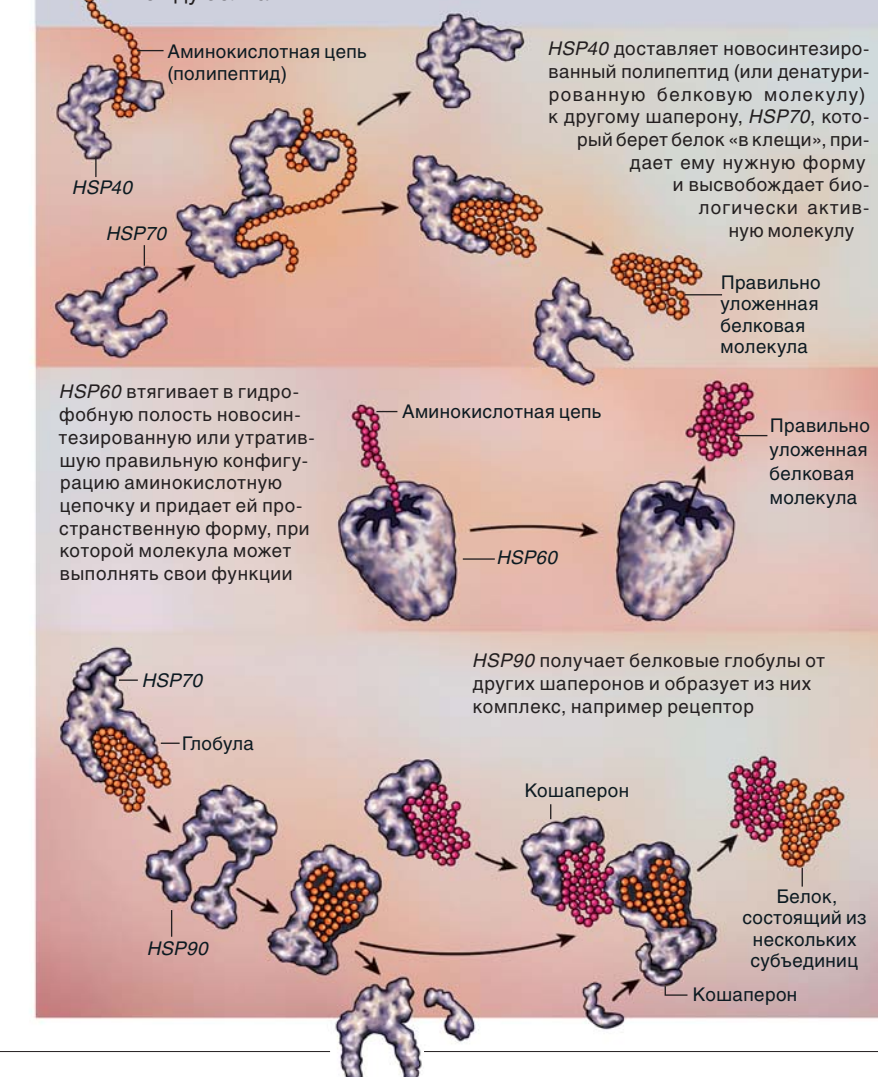
Стражи иммунной системы, антигенпредставляющие клетки, при-

сутствуют практически во всех тканях человеческого тела и непрерывно «обследуют местность» на наличие антигенов. Они «представляют» свои находки *T*-клеткам, те разыскивают антигенсодержащие клетки (раковые, инфицированные) и уничтожают их.

Как оказалось, антигенпредставляющие клетки несут на своей поверхности рецепторы, с которыми могут связываться шапероны, нагруженные пептидами. Первый такой рецептор, *CD91*, был идентифицирован Робертом Байндером (Robert J. Binder), когда он работал в моей лаборатории (сейчас Байндер — доцент Пит-

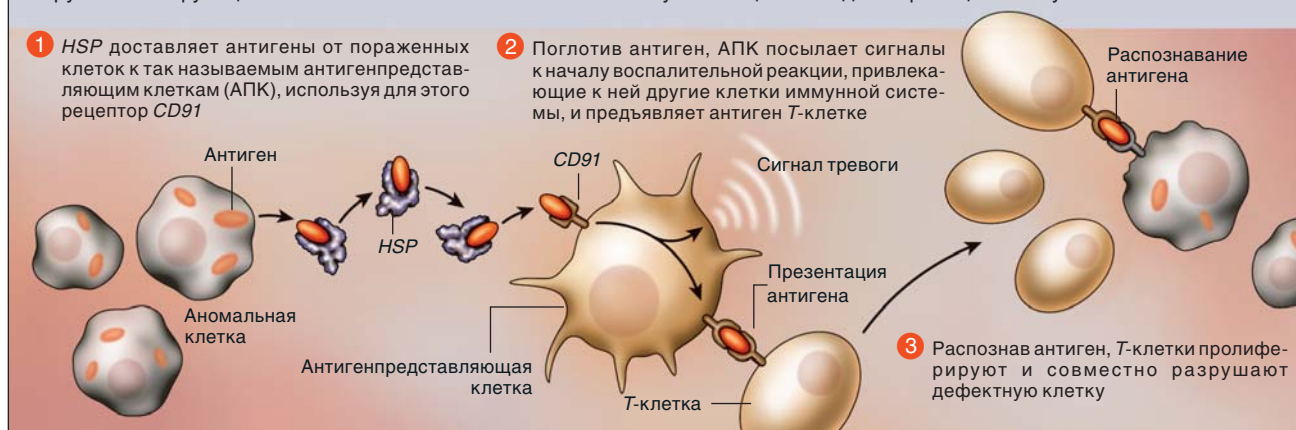
ПОДДЕРЖАНИЕ ПОРЯДКА

Белки теплового шока (*HSP*) «конвоируют» к месту назначения другие клеточные белки, способствуют правильной пространственной упаковке белковых молекул, разрушают аномальные комплексы между белками



АКТИВАЦИЯ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Когда клетка превращается в раковую, или в нее проникает какой-нибудь патоген, в ней начинается синтез необычных белков. Фрагменты белков — антигены — провоцируют иммунный ответ. Но для этого иммунные клетки должны быть поставлены в известность о возникшей аномалии. Белки теплового шока, прежде всего члены семейств *HSP90* и *HSP70*, берут на себя функции глашатаев. Они включаются в систему оповещения и идентификации возмутителей спокойствия



тсбургского университета). Когда антигенпредставляющая клетка встречается с комплексом *HSP*/пептид, она его захватывает *CD91*-рецептором и представляет пептид *T*-клеткам. Последние начинают размножаться и уничтожают несущие данный антиген клетки. В этом кроется причина того, что *HSP*, выделенные из организма больного раком, вызывают иммунный ответ на раковые клетки, а *HSP* здорового индивида — нет.

В дополнение ко всему сказанному выше, *HSP*, по-видимому, способны посылать сигнал тревоги. Вместе со Срейаши Басу (Sreyashi Basu) из Медицинской школы при Коннектикутском университете мною было показано, что одно только присутствие антигенпредставляющих клеток приводит к целому ряду изменений шаперонов семейств *HSP70* и *HSP90*; в частности они инициируют воспалительную реакцию — составную часть системы защиты организма при вторжении чужеродного агента. У *HSP* хватает работы и внутри клеток, но в условиях стресса некоторые шапероны высвобождаются в окружающую среду или размещаются на поверхности клеток в небольшом, но ощутимом количестве. По-видимому, активация антигенпредставляющих клеток под действием *HSP* и генерация сигнала тревоги обуславливаются простым появлением по-

следних на клеточной поверхности, где в норме им находиться не полагается.

В основе моих работ по использованию комплексов *HSP*/пептид, полученных от больных раком, для борьбы с этим заболеванием лежат способность комплексов активировать иммунную систему и уникальность опухоли каждого больного по своим антигенным свойствам. Мною разработан метод получения комплекса *HSP*/пептид от конкретного больного и введения его в чистом виде этому же человеку. По сути это является методом иммунизации, благодаря которой иммунная система начинает активно атаковать клетки, несущие ассоциированные с данной опухолью антигены. Такой подход был апробирован в США и Европе в ходе клинических испытаний (фазы I и II) на больных с разными онкологическими заболеваниями, а недавно завершена III фаза рандомизированных испытаний на больных меланомой и раком почек в США, Европе, Австралии и России. Показано, что больные меланомой, получившие вакцину на основе комплекса *HSP*/пептид, у которых симптомы ограничивались поражениями кожи, лимфатических узлов и легких, жили гораздо дольше, чем те, кто прошел стандартный курс лечения, включавший химиотерапию. Вакцинация при раке почек продле-

вала ремиссию у некоторых больных более чем на полтора года.

Российские ученые (группа под руководством Б.А. Маргулиса из Института цитологии РАН в Петербурге) создали индивидуальную вакцину против рака, и первым больным уже удалось вылечиться с ее помощью. Ожидается, что вскоре данный метод будет разрешен к применению в странах Европы. Управление по контролю над качеством пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США занимает пока выжидательную позицию. Тем временем обнаружилось, что *HSP*-вакцинация эффективна также при таких заболеваниях, как генитальный герпес и туберкулез. Сейчас соответствующая вакцина проходит клинические испытания.

Перспективы

Применение *HSP* в медицинских целях не ограничивается созданием вакцин на их основе. Исследование, проведенное Сюзанной Ратерфорд (Suzanne L. Rutherford) из Вашингтонского университета и Сузан Линдквист (Susan L. Lindquist) из Института биомедицинских исследований Уайтхеда в Кеймбридже (штат Массачусетс), выявило удивительную эффективность шаперонов в выполнении их основной работы — демпфировании губительных для клетки

стрессовых воздействий. Ими показано, что при подавлении активности *HSP90* у дрозофилы демаскируется большое число скрытых мутаций, эффект которых не проявлялся ранее благодаря шаперонам. Ратерфорд и Линдквист пришли к выводу, что живые системы обладают мощным потенциалом в отношении изменчивости, который обычно не дает о себе знать, поскольку его подавляют шапероны. Такой эффект способствует незаметному накоплению генетических изменений, и как только действие шаперонов ослабевает (например, при экстремальных температурах), варианты признака проявляются и становятся мишенью естественного отбора. Таким образом, *HSP90*, благоприятствуя изменчивости, ускоряет эволюцию.

Линдквист получила дополнительные свидетельства участия *HSP90* в быстром приобретении новых признаков, в частности резистентности к лекарственным веществам у разных видов грибов. Отсюда было сделано заключение, что видоспецифичные ингибиторы *HSP90* можно использовать как антибиотики нового поколения. Поскольку *HSP90* влияет на гораздо более широкий круг сигнальных механизмов, чем любой другой тип шаперонов,

его блокирование могло бы сделать раковые клетки более чувствительными к стрессовым воздействиям, например к химиотерапии.

Исследуя эффективность комплексов *HSP*/пептид как иммуностимуляторов при раке, я обнаружил странное явление. В очень высоких дозах *HSP* оказывает не активирующее, а подавляющее действие на иммунную систему, т.е. шапероны могут быть не только иммуностимуляторами, но и иммуносуппрессантами. Опыты на мышах показали, что в высоких дозах *HSP* эффективен при диабете 1-го типа (аутоиммунном заболевании) и энцефалите. Ирун Коэн (Irun R. Cohen) из Вейцмановского института в Реховоте (Израиль) уже давно высказывал предположение, что *HSP60* в комплексе с одним из пептидов выполняет функцию аутоантигена при диабете 1-го типа, инициируя атаку иммунной системы на инсулинпродуцирующие клетки. Клинические испытания показали, что блокирование пептида частично смягчает симптомы заболевания.

Благодаря наличию у шаперонов различных свойств их можно пытаться использовать для лечения многих болезней, однако такая универсальность имеет и отрицательную сторону: намеренное повышение

уровня *HSP* в организме может привести к нарушению разнообразных систем, в работе которых шапероны принимают участие. К счастью, у клиницистов и фармакологов накоплен богатый опыт использования веществ широкого спектра действия, и он несомненно поможет избежать нежелательных побочных эффектов применения шаперонов.

Подводя итог, можно сказать, что шапероны были инструментом природы с момента зарождения жизни, поскольку они активно участвовали в создании инфраструктуры живых систем. В их обязанности входит обеспечение конформационной стабильности белков, устранение безнадежно поврежденных белковых молекул, защита первых полипептидов от стрессовых воздействий со стороны агрессивной среды, существовавшей на первобытной Земле, а также противодействие вредным последствиям мутаций. В ходе эволюции у шаперонов появлялись новые функции, благодаря которым теперь мы можем использовать их в медицине. Я не думаю, что нам известно о шаперонах все. И чем больше тайн этих необычных молекул мы раскроем, тем шире будет круг их применения. ■

Перевод Н.Н. Шафрановская

ПРОХОДЯТ ИСПЫТАНИЯ

В настоящее время проходят испытания несколько лекарственных препаратов на основе шаперонов. Одни являются ингибиторами этих белков, другие — активаторами их образования; все зависит от заболевания и типа *HSP*

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ

● ИНГИБИТОР *HSP*

(вещества, блокирующие действие *HSP*, которые помогают выжить раковым или зараженным клеткам)

● ИНДУКЦИЯ СИНТЕЗА *HSP*

(тепловое или химическое воздействие, побуждающее организм повысить количество вырабатываемых *HSP*)

● ВАКЦИНАЦИЯ/ИММУНОТЕРАПИЯ

(очищенный комплекс *HSP*/пептид вводят в организм человека, от которого он был получен, для усиления иммунного ответа на раковые клетки или патогенные микроорганизмы)

* Одобрено к применению в России

HSP	ПРЕПАРАТ (ПРОИЗВОДИТЕЛЬ)	ЗАБОЛЕВАНИЕ
<i>HSP90</i>	● Альвеспимицин (<i>Kosan Biosciences</i>)	Рак молочной железы
	● Танеспимицин (<i>Kosan Biosciences</i>)	Лейкоз, лимфома, солидные опухоли
	● CNF 2024 (<i>Biogen Idec</i>)	
	● SNX-5422-мезилат (<i>Serenex</i>)	
	● AUY-922 (<i>Novartis</i>)	Солидные опухоли
	● IPI-504 (<i>Infinity Pharmaceuticals</i>)	Меланома, рак предстательной железы
	● BIB021 (<i>Biogen Idec</i>)	Лейкоз, лимфома, солидные опухоли
<i>HSP27</i>	● OGX-427 (<i>OncoGenex Technologies</i>)	Солидные опухоли
	● Радиочастотная терапия	Меланома
<i>HSP65</i>	● HspE7 (<i>Nventa Biopharmaceuticals</i>)	Предраковое состояние шейки матки при папилломавирусной инфекции
<i>HSP70</i>	● AG-707 (<i>Antigenics</i>)	Вирус простого герпеса 2-го типа
	● HSPPC-70/AG-858 (<i>Antigenics</i>)	Хронический миелолейкоз
<i>Gp96</i>	● HSPPC-96/витеспен* (<i>Antigenics</i>)	Солидные опухоли



Игорь Криз и Пол Сигел

Во что играют МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ГРУППЫ?

Новое поколение головоломок, последовавшее за хорошо известным всем кубиком Рубика, дает всем желающим шанс познакомиться с загадочным миром математических объектов, называемых простыми спорадическими группами

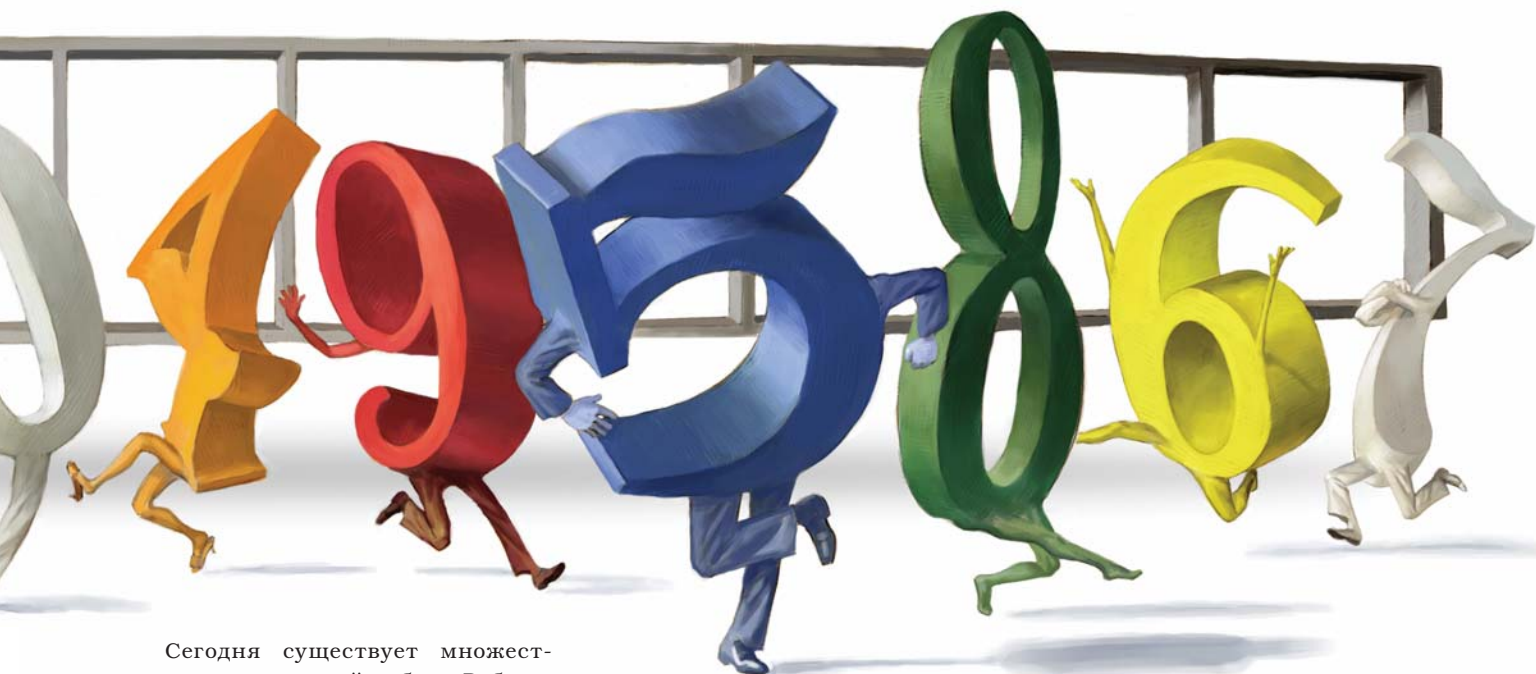
Кубик Рубика, взбудораживший мир в 1980-х гг., до сих пор приводит в замешательство миллионы людей. Если по какой-либо причине эта головоломка или вообще все 80-е гг. двадцатого столетия прошли мимо вас, стоит напомнить, что кубик Рубика — это маленькая пластмассовая

игрушка, куб, состоящий из 27 маленьких кубиков. Каждая из шести граней большого куба окрашена в определенный цвет: обычно это синий, зеленый, оранжевый, красный, желтый и белый. Тем не менее утверждение о том, что кубик Рубика состоит из маленьких кубиков, не совсем верное, поскольку внутри иг-

рушки скрывается гениальный механизм, изобретенный в 1974 г. венгерским учителем Эрне Рубиком — а также независимо от него в 1976 г. японским инженером Терутоши Ишиге (Terutoshi Ishige). Этот механизм задействует любую из шести граней большого куба, позволяя ей вращаться вокруг центра (*врезка на стр. 40*). Повернув грани в случайной последовательности пять-шесть раз, можно так перемешать все цвета, что только мастер будет способен восстановить последовательность действий или «ходов», как говорят специалисты. Цель игры заключается в том, чтобы собрать все кубики исходного цвета на каждой грани.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Успех в сборке кубика Рубика определяется нахождением коротких последовательностей ходов, выполняющих конкретные задачи.
- Стратегия оказалась настолько проста, что авторы захотели изобрести головоломки, для решения которых потребуются другая тактика.
- Основываясь на математической теории групп, столь хорошо проиллюстрированной кубиком Рубика, авторам удалось изобрести три новые игры, говорящие с многочисленными любителями головоломок на сложном языке спорадических простых групп.



Сегодня существует множество разновидностей кубика Рубика, в том числе головоломки, состоящие из большого количества элементов, или даже выполненные в виде других геометрических фигур. Тем не менее все они объединены одной идеей и с математической точки зрения относятся к так называемым «перестановочным головоломкам» (т.е. таким, для решения которых необходимо переставить или поменять местами их отдельные части, как это происходит с составными элементами кубика Рубика). Цель всех таких задач — восстановление исходного predeterminedного состояния элементов. Перестановочные головоломки тесно связаны с математическими объектами, которые называются перестановочными группами. Грубо говоря, это множества, включающие в себя все последовательности допустимых ходов, приводящих к требуемому упорядочиванию элементов головоломки.

Математическую группу можно понимать как обобщение обычной арифметики. Если наряду с целыми числами $0, \pm 1, \pm 2$ и т.д. рассмотреть операцию сложения, то получится математическая группа. На этом примере хорошо видны две основные составляющие любой группы. Во-первых, это сами ее элементы, которые могут быть не только числами, но системами чисел, объединенных в квадратные матрицы, буквами любого алфавита и даже разнообразными вращениями или фиксированными пере-

мещениями физических объектов. Во-вторых, группа должна содержать некоторую операцию над своими объектами, удовлетворяющую следующему требованию: результат применения операции к любым двум элементам группы также является элементом группы.

Помимо чисто теоретического интереса к теории групп существует ряд ее важных приложений в различных областях научного знания: кристаллографии, физике элементарных частиц, теории струн и даже в телекоммуникациях. Все эти приложения, равно как и задачи о решении различных головоломок, подогревают интерес многих ученых и способствуют открытию различных свойств абстрактных групп, связей между ними и их элементами.

С развитием математических моделей перестановочных головоломок, порожденных кубиком Рубика, стало понятно, что все эффективные алгоритмы их решения эквивалентны друг другу, вследствие чего подобные игры начали терять свою привлекательность. Это оказалось верным по крайней мере в отношении самой задачи о кубике Рубика. Причины подобного разочарования кроются в том, что все подобные перестановочные задачи описываются группами общего вида и поддаются одинаковым методам исследования. Тем не менее такие группы не

Причудливый танец чисел и их кажущееся случайным построение в действительности представляют собой лишь последствия одного хода в головоломке M_{12} — игре, иллюстрирующей свойства простых спорадических групп

исчерпывают всего многообразия групп, известных математикам. Для образовательного процесса и интуитивного понимания этой математической теории очень важным представляется построение новых головоломок, принципиально отличающихся от задач, подобных кубик Рубика. Авторам статьи удалось создать три новые головоломки, основанные на так называемых простых спорадических группах, чьи свойства столь же удивительны, сколь и малоизученны (если не считать избранных работ некоторых специалистов). К счастью, опыт подсказывает, что любой человек, способный решить задачу, аналогичную по сложности сборке кубика Рубика, сможет разобраться и в теории простых спорадических групп, пользуясь тремя изобретенными головоломками. Читатели, желающие познакомиться с ними поближе, смогут найти их в Интернете (ссылки на стр. 89).

Головоломки и их группы

Для решения новых головоломок полезно будет не только охарактере-

КОД КУБИКА РУБИКА

Решение новых головоломок, придуманных авторами статьи, основано на методах исследования математических объектов, называемых группами. Один из основных приемов, применяемых в теории групп, — выделение простых и однозначных способов записи элементов группы, а также их сочетаний

ЗАПИСЬ ХОДОВ

Кубик Рубика представляет собой группу, элементами которой являются ходы — возможные повороты каждой из граней. При этом все ходы идут последовательно один за другим. Механизм кубика (рис. справа) таков, что несмотря на то насколько перемешаны цвета, центральные части каждой грани остаются неподвижными при поворотах. Таким образом, любой ход может быть сопоставлен с первой буквой названия цвета центральной части каждой грани: синий, зеленый, оранжевый, красный, желтый и белый. Помимо этого необходимо определить способ подсчета поворотов каждой грани. Например, каждая буква может обозначать, что соответствующая грань поворачивается на 90° по часовой стрелке, если смотреть на нее (как это показано на рисунке для поворотов Ж и С). В дополнение к принятым обозначениям можно считать, например, что запись C^2 обозначает поворот синей грани на 180° , а $Ж^{-1}$ — поворот желтой грани на 90° против часовой стрелки (рис. внизу). Изначальное положение куба может быть определено с помощью трех видимых граней и их цветов, перечисляемых последовательно по часовой стрелке, начиная с верхней центральной грани (например, на рисунке внизу ориентация куба будет ОЖБ)



ПОДСКАЗКА: ПОРЯДОК ПОДСЧЕТА

Для того чтобы определить последовательность ходов, необходимую для восстановления всех цветов на каждой грани куба, необходимо строго придерживаться принятых обозначений и не забывать, например, что ходы, обозначаемые ЖС и СЖ, приводят к совершенно разным сочетаниям цветов на гранях



ризовать некоторые свойства простых спорадических групп, но и понять, чем эти группы отличаются от групп, связанных с кубиком Рубика. Прежде всего стоит отметить, что группы могут быть как конечными, так и бесконечными. Аддитивные группы целых чисел, упоминавшиеся ранее, очевидно, содержат бесконечное число элементов. Количество элементов в группе кубика Рубика, напротив, конечное

число. Несмотря на это множество всех допустимых последовательностей ходов в головоломке, бесконечно. Причина такого несоответствия заключается в отождествлении двух последовательностей ходов (как элементов группы) в том случае, если они начинаются и заканчиваются одинаковыми состояниями головоломки. Что же касается различных допустимых

состояний кубика Рубика, то они составляют астрономическое число — около 4×10^{19} или, чтобы быть точным, 43,252,003,274,489,856,000. Итак, число элементов группы, или число различных комбинаций ходов в группе, представленной кубиком Рубика, очень велико, но все-таки конечно.

Несмотря на такое огромное количество элементов, стратегия решения этой головоломки состоит всего из двух основных правил, которые будет проще освоить, имея под рукой карандаш, бумагу и сам кубик Рубика (лучше всего собранный). Первое правило заключается в разработке системы записи ходов, позволяющей при любой последовательности поворотов граней вернуться к исходному состоянию или наоборот повторить удачную цепочку ходов (врезка на стр. 40). Во-вторых, требуется изобрести такие короткие последовательности ходов, которые смогли бы решать отдельные конкретные задачи (например, поменять местами заданную пару угловых кубиков или кубиков на ребрах, оставляя остальные элементы на прежних местах) (врезка на стр. 41). Идея заключается в том, чтобы систематически комбинируя такие последовательности ходов, собрать головоломку. Опыт показывает, что подобный процесс проб и ошибок неизбежно ведет к решению. Можно говорить, что причина подобного успеха кроется в математической теории групп и состоит в том, что основными алгебраическими компонентами группы кубика Рубика являются так называемые симметрические группы, т.е. группы, состоящие из всех возможных перестановок заданного числа объектов. Так, например, симметрическая группа S_3 состоит из $3! = 1 \times 2 \times 3 = 6$ возможных перестановок трех объектов (врезка на стр. 42). Ее смежная группа A_3 состоит из трех элементов. Среди симметрических групп, относящихся к группе кубика Рубика, есть симметрические группы S_8 (все возможные 8! или 40320 способов перестановки восьми угловых кубиков головоломки) и S_{12} (все возможные 12! или 479,001,600 спосо-

ОБ АВТОРАХ

Игорь Криз (Igor Kriz) — профессор математики Мичиганского университета в г. Анн-Арбор, специализируется на алгебраической топологии и математической физике. Диссертацию по математике защитил в Университете Чарльза в Праге. Помимо научных интересов играет на пианино и органе. **Пол Сигел** (Paul Siegel) — студент Мичиганского университета, собирающийся защищать диссертацию в университете штата Пенсильвания.

бов перестановки остальных 12 боковых кубиков головоломки).

Немного о простых группах

Несмотря на то что каждая из придуманных авторами головоломок является перестановочной, все они основываются на так называемых простых спорадических группах. Для того чтобы понять, что это за группы, необходимо вникнуть в смысл понятия «подгруппа». Предположим, что требуется собрать только синюю и желтую грани кубика Рубика. С учетом поставленной задачи нет необходимости следить за остальными гранями, и поэтому количество отдельных последовательностей ходов будет меньше числа ходов, необходимых для сборки всей головоломки. Если некоторое подмножество всех элементов само по себе является группой, то такое подмножество называется подгруппой по отношению к исходной. Используя это понятие, можно дать определение простой группы: группа называется простой, если она не содержит «собственных» «нормальных» подгрупп (врезка на стр. 42). Если учесть тот факт, что простые группы появились в математике как системы составных и исключительно сложных объектов, словосочетание «простая группа», прочно вошедшее в обиход математиков, выглядит немного наивно. Простыми эти группы являются в том смысле, что представляют собой строительные кирпичики или «атомы» теории групп. В известном смысле простые группы схожи с простыми числами, делителями которых могут быть только они сами и единица (2, 3, 5, 7, 11 и т. д.). Каждая конечная группа может быть «разбита» на простые единственным образом, равно как любое целое число может быть представлено в виде произведения простых сомножителей.

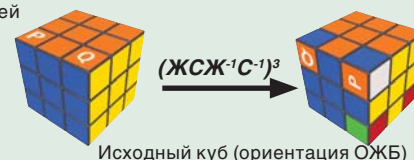
Все конечные простые группы уже описаны и классифицированы. Они были открыты между 1860-ми и 1980-ми гг., в то время как классификация была сделана в основном между 1940-ми и ранними 1980-ми гг. (с некоторыми не-

ДЕКОДИРОВАНИЕ КУБИКА РУБИКА

Классические перестановочные головоломки, элементы которых можно передвигать в определенном порядке (например, кубик Рубика), обычно могут быть решены следующим двухходовым методом

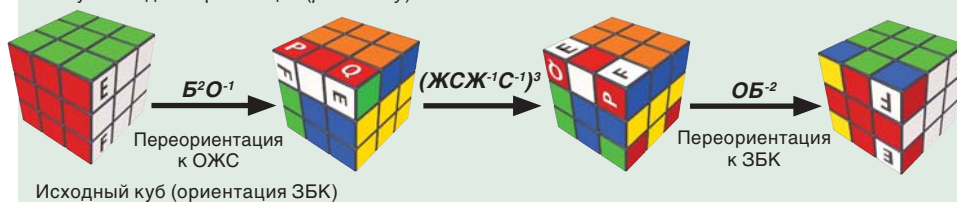
ПЕРВЫЙ ШАГ

Методом проб и ошибок выберите короткую случайную последовательность ходов, как, например, $ЖСЖ^{-1}С^{-1}$ (эти обозначения были введены на предыдущей странице). Повторите эту последовательность несколько раз. Часто это приводит к изменению позиций лишь нескольких элементов головоломки, в то время как остальные остаются на своих местах. Например, трехкратное повторение последовательности $ЖСЖ^{-1}С^{-1}$ изменяет только две пары угловых элементов: пару кубиков на ребре между синей и оранжевой гранями (на рисунке они обозначены буквами P и Q) и пару между желтой и красной гранями



ВТОРОЙ ШАГ

Изменяйте и улучшайте найденную полезную цепочку ходов. Например, для того чтобы поменять местами пару угловых элементов на ребре между красной и белой гранями (кубики, обозначенные буквами E и F на исходном кубе с выбранной ориентацией ЗБК), требуется найти последовательность ходов, уточняющую исходную цепочку. После применения последовательности $Б^2О^{-1}$ угловые элементы E и F перемещаются в положение P и Q (здесь для наглядности куб показан в ориентации ОЖС). Далее, используя уже известную комбинацию $(ЖСЖ^{-1}С^{-1})^3$, а затем обратную к первоначальной цепочку $ОБ^{-2}$, получаем требуемую перестановку в исходной ориентации (рис. внизу)



Аналогичная последовательность ходов может быть использована для перемещения любой пары угловых элементов на позицию какой-либо пары, измененной с помощью цепочки $(ЖСЖ^{-1}С^{-1})^3$. Таким образом, можно составить цепочку ходов, меняющую местами ровно два угловых кубика и оставляющую остальные элементы головоломки неизменными. Эта и подобные последовательности ходов позволяют решить не только задачу о восстановлении цветов на каждой грани кубика Рубика, но и многие другие классические перестановочные задачи

давними уточнениями) благодаря работам сотен математиков. Статьи об открытиях простых групп и доказательство того, что получен окончательный список всех простых групп, занимали более 10 тыс. страниц в более чем 500 статей в специализированных математических журналах. Математики до сих пор работают над упрощением этого доказательства, что поможет прояснить многие вопросы, касающиеся простых групп. Тем не менее имеющееся доказательство показывает, что существует 18 семейств конечных простых групп (каждое семейство состоит из бесконечного числа групп, обладающих определенными свойствами) и 26 простых спорадических групп.

Спорадические простые головоломки

Головоломки, созданные авторами статьи, основаны на трех спорадических группах, известных как M_{12} , M_{24} и Co_1 . Эти головоломки, как и кубик Рубика, являются перестановочными, но в данном случае сами перестановки подчиняются более строгим правилам, чем аналогичные в симметрических группах. В представленных играх многие сочетания чисел просто недоступны независимо от того, какое количество ходов было сделано. Как уже было отмечено, стратегия решения головоломок, родственных кубику Рубика, т.е. основанных на симметрических группах, не применима к этим новым головоломкам. Тем не менее су-

ЧТО ТАКОЕ ПРОСТЫЕ СПОРАДИЧЕСКИЕ ГРУППЫ?

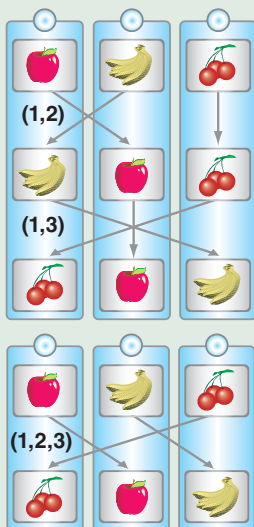
Все три новые головоломки основаны на простых спорадических группах перестановок, о которых стоит рассказать подробнее

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Симметрическая группа S_n — это группа всех возможных перестановок n объектов. Например, симметрическая группа S_3 состоит из шести отдельных перестановок, дающих возможность для шести расположений трех различных объектов. Группа перестановок всегда включает в себя нейтральный элемент, обозначаемый как (1), то есть такую перестановку, которая сохраняет исходное расположение объектов.

Перестановка (1,2) меняет местами объекты, находящиеся в первой и второй позициях. Перестановка (1,3) меняет местами первый и третий объекты. Композиция (то есть последовательное применение двух и более перестановок) (1,3) и (1,2) записывается как $(1,3) \circ (1,2)$.

Эти две перестановки вместе эквивалентны одной, которую принято записывать как (1,2,3). Это сокращенная запись циклического сдвига, при котором первый объект переходит на вторую позицию, второй на третью, а третий переходит на первую.



«ТАБЛИЦА УМНОЖЕНИЯ»

Таблица для шести перестановок трех объектов показывает, как сочетаются все 36 пар элементов в группе S_3 . Нейтральный элемент (1) действует так же как единица в обычной таблице умножения. Можно отметить, что каждая композиция перестановок в таблице эквивалентна одной из шести основных перестановок. Такие группы называются замкнутыми.

		Вторая перестановка					
		(1)	(1,2,3)	(1,3,2)	(1,2)	(1,3)	(2,3)
Первая перестановка	(1)	(1)	(1,2,3)	(1,3,2)	(1,2)	(1,3)	(2,3)
	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,3,2)	(1)	(2,3)	(1,2)	(1,3)
	(1,3,2)	(1,3,2)	(1)	(1,2,3)	(1,3)	(2,3)	(1,2)
	(1,2)	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1)	(1,2,3)	(1,3,2)
	(1,3)	(1,3)	(2,3)	(1,2)	(1,3,2)	(1)	(1,2,3)
	(2,3)	(2,3)	(1,2)	(1,3)	(1,2,3)	(1,3,2)	(1)

существуют другие стратегии поиска решения, основанные на некоторых особенностях спорадических групп.

Самая простая из представленных головоломок — это M_{12} . Она основана на спорадической простой группе с тем же названием, которая входит в пятерку групп, открытых в 1860-м г. французским математи-

ком Эмилем Матье (Emile Mathieu) и названных в его честь. Головоломка представляет собой последовательность чисел от 1 до 12, расположенных в ряд в произвольном порядке. Задача, как и раньше, заключается в упорядочивании этой последовательности, но допустимы всего две операции, применяемые ко

ПОДГРУППЫ

В результате композиции любых двух из перестановок (1), (1,2,3) и (1,3,2) снова получается одна из этих трех перестановок (выделенное место в таблице). Благодаря выполнению условия замкнутости эти три перестановки сами по себе образуют группу — так называемую подгруппу для S_3 .

ВСЕГДА МОЖНО ВЕРНУТЬСЯ

В каждой строке таблицы можно найти нейтральный элемент (1). Это говорит о том, что для любого элемента группы можно подобрать такую подстановку, что в результате их композиции получается (1). Такую подстановку мы будем называть обратной к исходному элементу (кратко это можно обозначить так: элемент g^{-1} является обратным к элементу g). Например, обратный элемент к (1,2,3) обозначается как $(1,2,3)^{-1}$ и равняется (1,3,2), поскольку $(1,2,3) \circ (1,3,2) = (1)$, а перестановка (1,2) является обратной самой себе, поскольку $(1,2) \circ (1,2) = (1)$.

О СОБСТВЕННЫХ ПОДГРУППАХ

Простая группа — это группа, не содержащая «собственных», «нормальных» подгрупп. Каждая группа содержит как минимум две подгруппы: саму себя и группу, состоящую из одного нейтрального элемента (1). Любая другая подгруппа называется собственной.

О НОРМАЛЬНОСТИ

Рассмотрим композицию произвольной перестановки из группы — например (1,2) — и элемента из выделенной в таблице подгруппы — например, (1,2,3).

$$(1,2) \circ (1,2,3) = (1,3)$$

Далее рассмотрим композицию полученного результата с элементом, обратным к исходному: в данном случае это (1,2).

$$(1,3) \circ (1,2) = (1,3,2)$$

$$\text{Или: } (1,2) \circ (1,2,3) \circ (1,2)^{-1} = (1,3,2)$$

Если в результате всех подобных операций получаются только подстановки, принадлежащие подгруппе, то она называется нормальной (в данном случае, в результате получился элемент (1,3,2), принадлежащий подгруппе).

О СПОРАДИЧНОСТИ

Самые простые группы были объединены в бесконечные семейства групп. Но оказалось, что 26 из них нельзя как причислить ни к одному семейству, так и упростить. Для того чтобы подчеркнуть их уникальную структуру, математики назвали их спорадическими.

всей последовательности неограниченное количество раз в любом порядке (врезка на стр. 43).

Читателю, желающему разобраться с основными принципами, по которым действует головоломка M_{12} , можно дать одну подсказку. В этой головоломке, равно как и в самой группе, с помощью некоторой по-

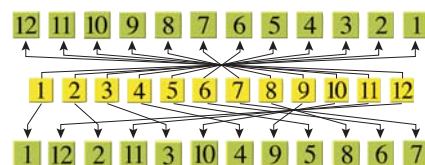
следовательности ходов можно добиться того, что любые пять фиксированных чисел займут пять заданных позиций в строке. Если добиться того, чтобы эти числа заняли свои «правильные» (соответствующие их номерам) позиции, головоломка будет решена. Причина такого эффекта заключается в том, что группа M_{12} состоит из $12 \times 11 \times 10 \times 9 \times 8 = 95,040$ перестановок, что в точности равняется количеству способов выбора любых пяти чисел из представленных 12 с последующим их расположением на заданных позициях (первое число можно расположить на любой из 12 позиций, второе — на любой из оставшихся 11, и т. д., вплоть до пятого числа). Тот факт, что головоломка полностью определяется расположением пяти чисел, исключает все возможные попытки перестановки меньшего количества элементов. Таким образом, каждый ход (исключая так называемый нулевой ход, не меняющий расположение чисел) должен оставлять меньше пяти чисел на прежних позициях в строке, изменяя тем самым позиции как минимум восьми элементов головоломки.

Более сложные головоломки

Вторая головоломка, M_{24} , состоит уже из большего количества элементов: числа с 1 по 23 выстроены по кругу как на циферблате часов, а последнее число располагается отдельно. Так же как и в головоломке M_{12} допустимыми являются только два хода (врезка на стр. 43). Группа перестановок, порожденная этими двумя ходами, называется группой Матье M_{24} . Замечательное свойство расстановки пяти чисел по соответствующим позициям, описанное выше для группы M_{12} , дает ключ к решению и этой головоломки. Тем не менее это еще не окончательное ее решение, поскольку группа M_{24} содержит $24 \times 23 \times 22 \times 21 \times 20 \times 19 = 244,823,040$ элементов, и после того как пять чисел будут расставлены по своим позициям, оставшиеся 19 элементов можно распределить по кругу 48 способами.

ДВЕ ГОЛОВОЛОМКИ В ИНТЕРНЕТЕ

Головоломка M_{12} , представляющая простую sporadic group Матье M_{12} , была создана авторами статьи и на данный момент доступна всем пользователям Интернета. Цель головоломки — упорядочить ряд чисел от 1 до 12, изначально расположенных в произвольном порядке. Для этого разрешается пользоваться всего двумя допустимыми операциями, действие которых можно проверить на уже упорядоченной последовательности чисел



Вторая головоломка — M_{24} — основана на простой sporadic group Матье M_{24} . Здесь используется последовательность чисел от 1 до 23, расположенных на окружности в произвольном порядке. Изначально число 0 располагается в верхней части круга в отдельной ячейке. Как и в случае предыдущей головоломки, задача состоит в восстановлении исходного порядка чисел, а допустимыми являются только две операции. Первая «поворачивает» круг с числами ровно на одно деление (число на первой позиции переходит на место второго и т. д., в то время как число, стоящее в отдельной ячейке, остается без изменений). Вторая операция меняет местами пары чисел, стоящие в ячейках одного цвета



«Дотто» — последняя из трех изобретенных головоломок, представляет собой группу Конвея Co_0 , открытую в 1968 г. математиком Джоном Конвеем из Принстонского университета. Сам ученый из скромности обозначал эту группу как «.0», отсюда и взялось название «дотто» (от англ. *dot* — «точка»). У группы Co_0 существует также четыре родственные группы, самая многочисленная из которых, группа Co_1 , содержит вдвое меньше элементов, чем Co_0 (это составляет примерно $4,16 \times 10^{18}$ элементов).

К сожалению, объем данной статьи не позволяет описать структуру головоломки «дотто» более подробно. Тем не менее следует отметить, что она, равно как и соответствующая группа, обладает замечательными математическими свойствами. Головоломка тесно связана с решеткой Лича — множеством «точек» или упорядоченных цепочек чисел в 24-мерном пространстве. Известно, что среди всех сфер, расположенных в 24-мерном пространстве, основанном на 24-мерных «сферах» в узлах решетки, сферы на решетке Лича размещаются наиболее компактно.

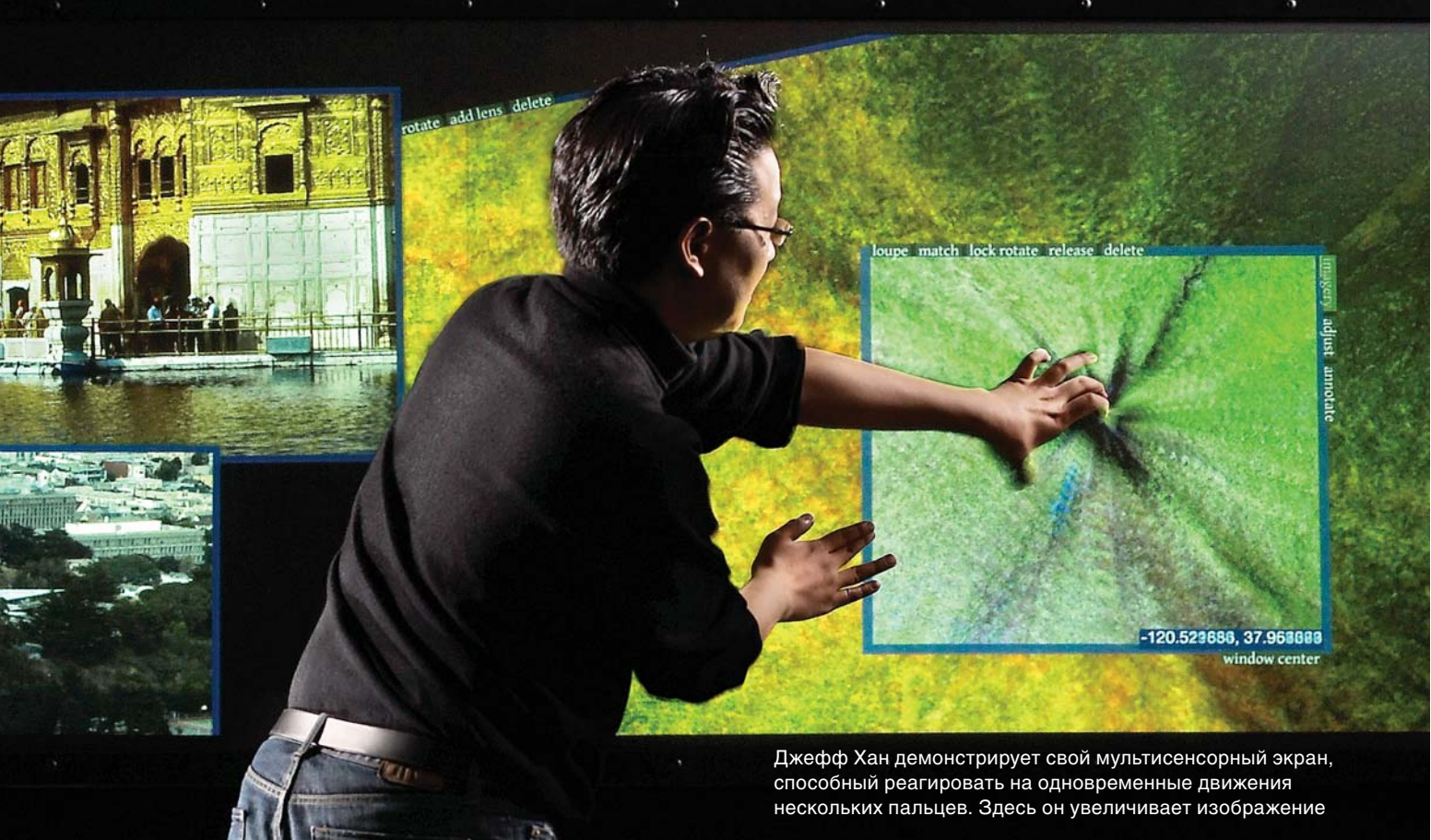
Немного о монстрах

Только четыре sporadic группы превышают группу Co_1 по количеству элементов: группа Янко J_4 , группа

Фишера F_{24} , а также группа Фишера B и группа Фишера-Грисса M , получившие прозвища «Бэби-монстр» и «Монстр» соответственно из-за огромного числа их элементов. Группа «Монстр» или, по-другому, «Дружественный гигант» содержит 8×10^{53} элементов. Она была сконструирована в 1980 г. Робертом Гриссом-младшим из Мичиганского университета в г. Анн-Арбор и представляет собой группу изменений конкретного числа составных математических структур в 196,884-мерном пространстве.

В заключение следует отметить, что авторы не пытались создавать головоломок, основанных на других простых sporadic группах, хотя теоретически это возможно. Разработка головоломки, базирующейся на группе M , — безусловно, серьезная задача. Причина, по которой подобная игра еще не создана, заключается в том, что до сих пор не известно, является ли M группой перестановок объекта, достаточно малого для визуализации. Тем не менее, согласно известной гипотезе, «Монстр» — это группа перестановок некоего 24-мерного искривленного пространства. Успешная разработка M -головоломки может помочь математикам доказать эту важную гипотезу. ■

Перевод: Д.С. Хованский



Джефф Хан демонстрирует свой мультисенсорный экран, способный реагировать на одновременные движения нескольких пальцев. Здесь он увеличивает изображение

руки НА КОМПЬЮТЕРНОМ Экране

Стюарт Браун

Экраны дисплеев, способные воспринимать команды от нескольких одновременных прикосновений, могут повысить эффективность коллективной работы без помощи мыши или клавиатуры

В прошлом году компания Apple вывела на рынок свой новый iPhone, представив на суд широкой общественности так называемый мультисен-

сорный (multi-touch) экран. Для того чтобы увеличить или уменьшить изображение, достаточно было дотронуться до краев экрана двумя пальцами и затем раздвинуть или

сблизить их, а чтобы переместить картинку, достаточно просто прикоснуться к ней. Работа с таким интерфейсом кажется более естественной и даже доставляет удовольствие. Однако к моменту появления iPhone в ряде лабораторий мира уже были созданы устройства с более широкими возможностями. Экраны, способные реагировать на одновременные прикосновения всех десяти пальцев и даже нескольких рук разных людей, намного превосходили размером своего предшественника.

Нетрудно вообразить радость профессионалов, которым приходится манипулировать большими объемами изобразительных материалов — фотографов, дизайнеров-графиков и архитекторов. Однако данная технология широко применяется уже сегодня для совместной работы над общей задачей во время мозговых штурмов, когда любой человек без какого-либо предварительного обучения может передвигать или помещать объекты на экране.

Чувствительные пиксели

На переднем крае в этой области работает научный консультант Нью-Йоркского университета и основатель компании Perceptive Pixel Джефф Хан (Jeff Han). Первое, что

бросится вам в глаза в вестибюле его компании, — висящий на стене плоский экран размерами 0,9 × 2,4 м, на который Хан вызывает калейдоскоп изображений одним прикосновением. Экран способен обрабатывать одновременно больше 10 видеосигналов, при этом никакой панели инструментов на нем не видно. Когда Джеффу Хану нужно вызвать какой-либо файл, он просто дважды дотрагивается до экрана, и на нем появляются схемы или меню, работать с которыми также можно простыми прикосновениями.

В число организаций, которые первыми приобрели у Хана полную версию его системы, входят разведывательные службы, которым нужно быстро сопоставлять изображения, например с разведывательных спутников, с привязкой к географическим координатам. Ведущие новостей в компании CNN использовали систему *Perceptive Pixel* для освещения первичных выборов, воспроизводя данные по 50 штатам. Чтобы наглядно отобразить результаты голосования, ведущие, стоя перед экраном, быстро увеличивали и уменьшали изображения отдельных штатов и даже графств, просто водя пальцами по карте. Глядя в будущее, Хан ожидает, что его технология найдет применение в областях, связанных с использованием больших объемов графики, например в торговле электроэнергией и медицине.

Главный исследователь компании *Microsoft Research* Билл Бакстон (Bill Buxton) говорит, что первые робкие шаги в области мультисенсорных экранов предпринимались еще в начале 1980-х гг. В начале 2000 г. Джефф Хан взялся за преодоление одной из самых больших технических трудностей — обеспечение высокого разрешения при управлении с помощью пальцев, что потребовало как аппаратных, так и программных инноваций.

Возможно, самой фундаментальной из них стало использование оптического эффекта нарушения полного внутреннего отражения, который используется также в системах распознавания отпечатков пальцев. Хан,

называющий себя «очень тактильным человеком», обратил внимание на этот эффект, когда смотрел сквозь стакан с водой. Он отметил, как четко проявляется рисунок папиллярных линий его пальца на внешней стороне стекла, если смотреть на него сквозь воду под углом. Ему пришло в голову, что с помощью оптической системы можно будет отслеживать перемещения пальцев по поверхности прозрачного экрана. С этого началась шестилетняя работа над созданием мультисенсорного интерфейса.

Сначала Хан рассматривал создание высокоразрешающего варианта сенсорного экрана, реагирующего на одно прикосновение, как в банкоматах, где обычно используется электрическая емкость пальца, касающегося определенных точек экрана. Но для отслеживания нерегулярных перемещений пальца потребовалось бы немыслимое количество проводных соединений за экраном, что ограничило бы его функциональные возможности. В итоге Джефф Хан создал прямоугольную пластину из акрилового оргстекла, играющую роль световода. Расположенные по ее краям светодиоды вводили в нее инфракрасное (ИК) излучение, которое затем испытывало внутреннее отражение от поверхностей пластины, как свет в оптическом волокне, не выходя наружу. Но в том месте, где пластины касался палец, часть излучения рассеивалась от него и через противоположную сторону пластины выходила наружу. Расположенные позади пластины видеокамеры воспринимали выходящее излучение, регистрируя место прикосновения. При этом они могли регистрировать излучение, рассеянное от многих точек одновременно.

Скоро Хан обнаружил, что его акриловая пластина могла служить также диффузно рассеивающим экраном: расположенный за ней проектор, связанный с компьютером, мог отображать на нее изображения, видимые с передней стороны пластины. Таким образом, экран мог служить одновременно устройством вывода изображений и устройством ввода информации о прикосновениях к ним.

Первой трудностью стало обеспечение точного определения места прикосновения. Гораздо более сложной задачей оказалось создание программ, способных отслеживать случайные перемещения пальцев и преобразовывать полученные данные в команды для выполнения соответствующих преобразований изображений. Полудюжине разработчиков ПО, работавших с Ханом, пришлось сначала написать программы, которые должны были играть роль высококачественной

Управление с помощью мультисенсорного экрана вывел в широкие массы *iPhone* компании *Apple*, но сегодня в лабораториях создаются несравненно более мощные системы



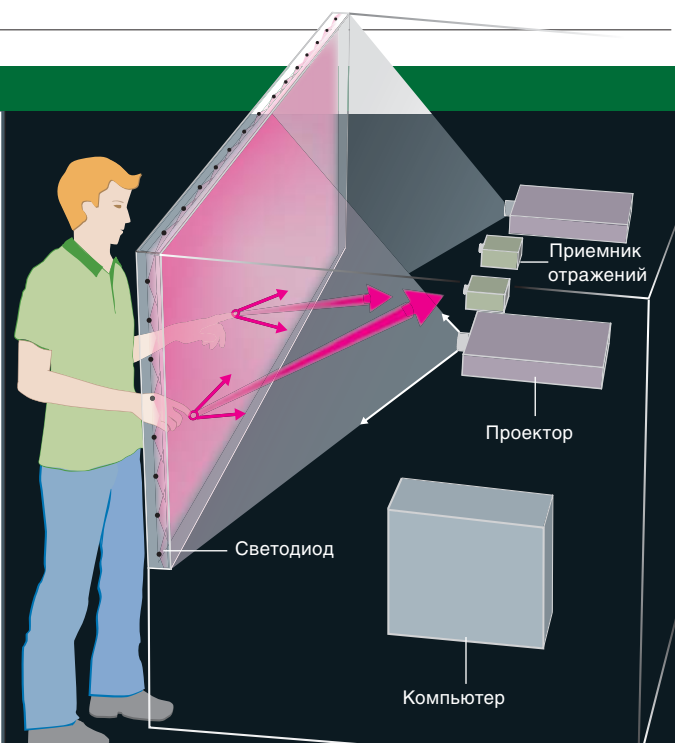
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Мультисенсорные экраны способны воспринимать команды от одновременного прикосновения нескольких пальцев.
- Экран размером во всю стену, созданный компанией *Perceptive Pixel*, может реагировать на одновременные прикосновения до десяти пальцев или нескольких рук. Компании *Microsoft* и *Mitsubishi* предлагают меньшие специализированные системы для отелей, больших магазинов и технических и дизайнерских компаний.
- Возможно, что в один прекрасный день мультисенсорные экраны освободят нас от мыши, как мышь некогда освободила нас от привязки к клавиатуре.

СЛЕДИТЕ ЗА ПАЛЬЦАМИ

Самые совершенные мультисенсорные экраны реагируют на перемещения и нажатия нескольких пальцев одновременно. В системе *Perceptive Pixels* (рисунок рядом) проектор посылает изображения на экран в виде пластины из акрилового оргстекла. Когда палец или иной предмет (например, стилус), касается поверхности экрана, ИК-излучение, посылаемое в пластину экрана светодиодами, рассеивается от него таким образом, что попадает на фотодатчики. Программа интерпретирует полученные данные как движения пальцев по экрану. Когда нужно, постукиванием по экрану можно вызвать на него меню.

Для создания сигнала светодиод посылает в акриловую пластину ИК-излучение. Вследствие полного внутреннего отражения это излучение не может выйти из пластины. Но там, где ее поверхности касается палец, излучение рассеивается таким образом, что может попасть на приемники отражений. При этом чувствительное к давлению покрытие акриловой пластины прогибается в большей или меньшей степени в зависимости от силы нажатия, соответственно изменяя интенсивность рассеянного излучения, а компьютер интерпретирует интенсивность как меру силы нажатия



графической машины с минимальной задержкой реакции и минимальным размытием изображения при быстрых перемещениях объектов по экрану пальцами. Затем им пришлось иметь дело с необычным поведением сигнала нарушенного полного внутреннего отражения от экрана при нерегулярных перемещениях пальцев по экрану в разных направлениях.

В самой основе архитектуры операционных систем компьютеров лежит предположение, что входные данные от пользователя будут поступать через клавиатуру или мышь. Смысл нажатия клавиши однозначен: «а» означает «а». Движения мыши характеризуются ее координатами x и y в прямоугольной системе. Такой метод представления входной информации относится к общей дисциплине, называемой графическим интерфейсом пользователя (ГИП). Мультисенсорный экран Хана может генерировать больше 10 одновременных потоков пар значений x и y , а «традиционный» ГИП не рассчитан на такое множество одновременных потоков данных», отмечает Хан.

Существующие операционные системы — *Windows*, *Macintosh*

и *Linux* — настолько глубоко срослись с использованием единственного курсора мыши, что «для создания графической основы мультисенсорной системы нам пришлось разорвать множество связей», — говорит Хан.

В ходе работы Хан обнаружил, что можно использовать и восприятие нажатия, если наложить на акриловую пластину тонкий слой полимера с микроскопическими рубчиками на поверхности. Когда пользователь нажимает пальцем на этот слой, полимер немного прогибается. При этом в зависимости от силы нажатия площадь отпечатка пальца становится больше или меньше. Соответственно изменяется и интенсивность рассеянного излучения, что может регистрировать камера. Сохраняя силу давления пальца на объект на экране, пользователь может передвигать его за соседний.

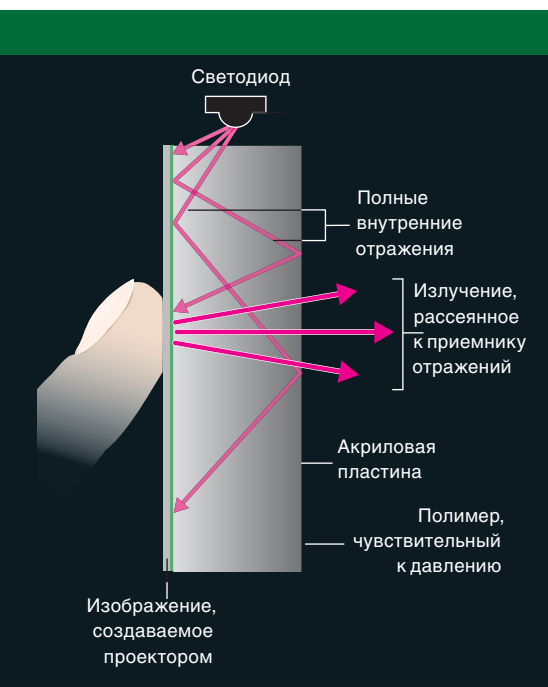
Команда *Perceptive Pixel*, созданная в 2006 г., собрала все элементы воедино и в том же году продемонстрировала созданную систему на конференции по технологии, развлечениям и дизайну (*Technology, Entertainment and Design, TED*), вызвав восторг аудитории. С тех пор

число заказов устойчиво растет. Цены компания не называет.

Microsoft царапает поверхность

Пока Джефф Хан создавал свою систему, инженеры в других местах использовали для решения подобной задачи свои методы. Сегодня *Microsoft* представляет менее мощную мультисенсорную систему *Surface*, за которой пытается закрепить название «поверхностные компьютеры». Программа по ее созданию стартовала в 2001 г., когда Стиви Баттиш (*Stvie Bathiche*) из *Microsoft Hardware* и Энди Уилсон (*Andy Wilson*) из *Microsoft Research* начали разработку интерактивного стола, способного распознавать помещенные на него предметы. Предполагалось, что такой стол сможет служить электронной машиной для игры в пинбол, видеоголоволомкой или системой просмотра фотоснимков.

Испытав больше 85 прототипов, они создали стол с прозрачной акриловой столешницей, под которой на полу находится проектор. Проектор посылает изображения на 76-сантиметровый горизонтальный экран, подсвечиваемый снизу



ИК-светодиодами. Отпечатки пальцев или предметы, находящиеся на столе, отражают излучение этих светодиодов, что позволяет системе распознавать сигналы от пальцев. Обработку информации осуществляет компьютер с ОС Windows Vista.

Корпорация Microsoft предоставляет системы Surface четырем своим партнерам в областях индустрии досуга, розничной торговли и развлечений, которые она считает наиболее перспективными с точки зрения внедрения данной технологии. В частности сеть отелей Sheraton компании Starwood Hotels планирует установить «поверхностные компьютеры» Surface в холлах своих гостиниц, чтобы постояльцы могли искать и выбирать музыку для прослушивания, посылать домой цифровые фотоснимки или заказывать еду и напитки. Посетители магазинов американской сети T-Mobile смогут сравнивать различные модели сотовых телефонов, просто помещая их на стол системы. При этом метки в виде черных очков, как на костяшках домино, на обратной стороне телефона будут давать системе команду вызова информации о цене и характеристиках телефона. Другая программа Microsoft позволит циф-

ровым фотокамерам со средствами беспроводной связи, положенным на поверхность стола, загружать в компьютер и выводить на экран хранящиеся в их памяти снимки без какого-либо кабеля.

Системы Surface первого поколения стоят от \$5 до \$10 тыс. Как и в отношении большинства электронных устройств, Microsoft ожидает, что с увеличением объемов производства цены будут снижаться, и предполагает, что через три-пять лет они станут доступными более широкому кругу потребителей.

Mitsubishi не дремлет

Разработчиков технологий может заинтересовать «стол» Diamond Touch компании Circle Twelve, недавно отделившейся от корпорации Mitsubishi Electric Research Laboratories. Конструкция стола позволяет потребителям самим составлять программы для предполагаемых приложений. Несколько десятков таких устройств уже используются в исследовательских лабораториях и на коммерческих предприятиях.

Назначение Diamond Touch — поддержка коллективной работы небольших групп, говорит вице-президент Mitsubishi по маркетингу Адам Бойг (Adam Bogue). По его словам, «с системой может взаимодействовать несколько человек, которых она способна распознавать». Пользователи сидят в креслах вокруг стола и связаны с расположенным под ним компьютером. Когда кто-то из них касается поверхности стола, система антенн, вделанных в экран, посылает импульс компьютеру через тело этого человека и его кресло. Такая схема называется емкостной связью. В другом варианте для замыкания цепи связи может использоваться специальный мат на полу. Антенны определяют место на экране, которого коснулся человек.

На первый взгляд может показаться, что эта система налагает некоторые ограничения, но она позволяет определять, кто коснулся экрана первым, и игнорировать

другие прикосновения до тех пор, пока первый коснувшийся не закончит ввод своей информации. А также отслеживать, кто внес изменения в изображение, например в чертеж, и какие.

Транснациональная техническая компания Parsons Brinckerhoff, поэкспериментировав с новым продуктом, планирует приобрести дополнительные столы для работы с чертежами. «В ходе выполнения большого проекта мы провели тысячи встреч, — говорит региональный менеджер отдела визуальных представлений этой компании Тимоти Кейс (Timothy Case). — Имей мы множество таких столов в разных местах, каждый мог бы видеть одно и то же одновременно».

И система Diamond Touch, и системы компании Perceptive Pixels оснащены эмуляторами клавиатуры (виртуальная клавиатура на экране), используя которую, пользователи могут «печатать». Однако энтузиасты, которые захотели бы использовать эти динамичные системы для такой приземленной цели, едва ли найдутся. Огромные возможности мультисенсорных экранов позволяют нескольким людям совместно выполнять сложные работы. Сейчас уже трудно припомнить, насколько свободными почувствовали себя люди около 25 лет назад, получив мышь, избавившую их от необходимости пользоваться клавишами со стрелками на клавиатуре. Скоро мультисенсорные экраны смогут освободить нас и от нее. «Новые пользовательские интерфейсы появляются очень редко, — говорит Хан. — Сегодня мы еще в самом начале новой эры». ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Более подробные сведения о мультисенсорных системах есть на сайте www.billbuxton.com/multitouchOverview.html

■ Видеодемонстрация системы Perceptive Pixel представлена на сайте www.perceptivepixel.com



Питер Форбс

САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ материалы

Удивительная способность лотоса отталкивать грязь подтолкнула специалистов к созданию ряда технологий самоочистки и самообеззараживания, которые могут пригодиться также для управления микроустройствами типа «лаборатория в чипе»

Вильгельм Бартлотт (Wilhelm Barthlott) из Боннского университета в Германии, открыватель и разработчик «эффекта лотоса», часто видит в своем воображении Манхэттен, где легкий дождь отмывает окна и стены небоскребов до чистоты несравненного лотоса, а навесы и маркизы из новых тканей сохраняют безупречный вид без вмешательства мойщика. Но мир, заполненный предметами, не требующими мытья, представляет себе не один лишь Бартлотт: в Японии разрабатываются технологии, позволяющие использовать в ванных комнатах и больницах самодезодорирующиеся

и самодезинфицирующиеся поверхности. Майкл Рабнер (Michael Rubner) и Роберт Коэн (Robert Cohen) из Массачусетского технологического института рассматривают аналогичные технологии предотвращения запотевания зеркал и создания микрофлюидных (т.е. таких, в которых жидкости движутся по микроскопическим каналам) «лабораторий в чипе». Уже существуют рубашки, блузки, юбки и брюки, очищающиеся от кетчупа, горчицы, красного вина и кофе. Революция в области самоочищающихся поверхностей началась.

Идею подобных материалов подсказала людям сама природа. Священ-

ный лотос (*Nelumbo nucifera*), ослепительно красивое многолетнее водное растение, играет важную роль в религиях и культуре Индии, Мьянмы, Китая и Японии. Его почитают за исключительную чистоту. Лотос растет в загрязненных водах, но его листья, возвышающиеся на метры над водой, всегда выглядят безукоризненно. Капли воды на них переливаются неземным блеском, а дожди смывают с них грязь гораздо легче, чем со всех других растений.

Именно это последнее свойство привлекло внимание Бартлотта. В 1970-х гг. его привели в восторг возможности растровых электрон-



ных микроскопов, производство которых было налажено в 1965 г. и которые позволили получать четкие изображения деталей даже нанометрового масштаба. При таких увеличениях мельчайшие частицы грязи могут погубить картину, из-за чего образцы приходится тщательно очищать. Однако Бартлотт заметил, что некоторые растения никогда не выглядят нуждающимися в мытье, и королем среди них был лотос.

Исследователь предположил, что данное свойство обусловлено сочетанием двух особенностей поверхности листьев лотоса: ее воскообразностью и покрывающими ее микробугорками (размерами в несколько микрометров). Из курса общей физики он знал, что даже одна воскообразность может сделать листья гидрофобными, т.е. водоотталкивающими. На такой поверхности капля воды «сидит» высоко, поэтому площадь ее контакта с поверхностью материала минимальна (*врезка внизу на следующей стр.*). На гидрофильных, или водолюбивых поверхностях вода растекается, максимально увеличивая площадь контакта. В случае гидрофильной поверхности краевой угол (угол между твердой поверхностью и касательной к поверхности капли в месте ее контакта с твердой поверхностью) меньше 30° , а в случае гидрофобной поверхности он больше 90° .

Бартлотт понял также, что бесчисленные микробугорки на поверхности листа лотоса дополнительно повышают ее гидрофобность, делают ее сверхгидрофобной, поэтому краевой угол может превышать 150° , т.е. вода на них образует почти сферические капли с очень малой площадью контакта, которые легко стекают по поверхности, как шарики в шарикоподшипнике. Вода «покоится» на верхушках бугорков, как йог на гвоздях. Воздух, захваченный между водой и поверхностью листа в пространствах вокруг бугорков, дополнительно увеличивает краевой угол. Этот эффект описывается уравнением Касси-Бакстера, названным по именам А. Касси (A.B.D. Cassie)

и С. Бакстера (S. Baxter), которые вывели его в 1940-х гг.

Грязь скапливается только на верхушках бугорков на листе лотоса и легко смывается дождевыми каплями. Тот факт, что микроскопические бугорки делают поверхность чище, кажется парадоксальным. Еще в детстве я усвоил, что «грязь укрывается в ямках и трещинках». Кроме того, согласно общепринятому мнению, для того чтобы вещи были чистыми, необходимо держать их выглаженными. Однако рассмотрение лотоса показывает, что этот принцип верен не всегда.

Поняв, каким образом маленькие бугорки сохраняют безупречную чистоту листьев лотоса, Бартлотт, будучи прежде всего ботаником, сначала не видел в своем открытии коммерческой выгоды. Однако в 1980-х гг. он понял, что если удастся искусственно создать шероховатые воскообразные поверхности, то такой искусственный лотос может найти множество практических применений. Позднее он запатентовал идею создания поверхностей с приподнятыми микроскопическими участками, которые будут делать ее самоочищающейся, и зарегистрировал торговую марку *Lotus Effect* («эффект лотоса»).

Придание поверхностям изделий свойств сверхгидрофобности с помощью «эффекта лотоса» было не легким делом. Гидрофобность — это свойство отталкивания. Но вещество, которое отталкивает все, нужно заставить сцепляться с изделием. Тем не менее к началу 1990-х гг. Бартлотт сумел создать «ложку для меда» с самодельным микрошероховатым силиконовым покрытием, ко-

торое позволяло жидкости стекать с данного прибора, не оставляя следов. Эта ложка в итоге убедила некоторые крупные химические компании в перспективности идеи Бартлотта, и вскоре они нашли больше возможностей использовать его открытие. Пока основным его применением остается краска *StoLotusan* для фасадов зданий, выпущенная в 1999 г. немецкой транснациональной компанией *Sto AG* и принесшая ей большой успех. *Lotus Effect* стал в Германии бытовой маркой. В октябре 2007 г. журнал *Wirtschaftswoche* назвал его в числе 50 наиболее значительных немецких изобретений последних лет.

Конец ресторанным бедам

Произнесите «самоочищающиеся...», и многие тут же продолжают: «...ткани». Согласитесь, нам не часто приходится в голову мысль помыть внешние стены своих домов, но стирка — дело повседневное. После пробного старта самоочищающиеся ткани стали появляться повсюду. Началось все с *Nano-Care*.

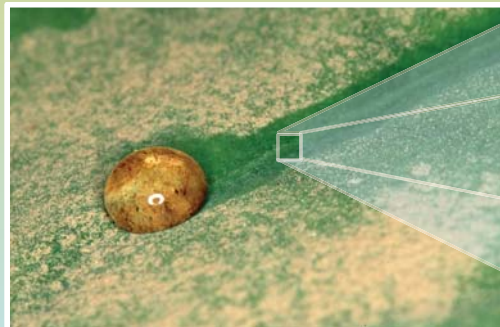
Nano-Care — это вид отделки тканей, разработанный изобретателем и предпринимателем Дэвидом Соуном (David Soane) и производимый сегодня его компанией *Nano-Tech*. Вспомните пушок на персике. Подставьте персик под кран, и вы увидите эффект *Nano-Care* воочию. «Пушок», создаваемый покрытием *Nano-Care*, состоит из миниатюрных волосков, прикрепленных к волокнам хлопка. Они настолько малы — меньше одной тысячной размера бугорков на листьях лотоса, — что хлопковые волокна выглядят по сравнению с ними большими колоннами.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

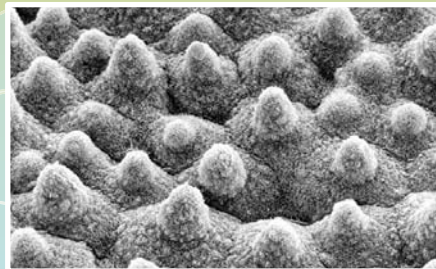
- Микроскопические бугорки на воскообразной поверхности листа лотоса делают ее исключительно водоотталкивающей, т.е. сверхгидрофобной. Капли дождя легко скатываются с нее, унося с собой грязь.
- Ученые разработали синтетические самоочищающиеся материалы, в некоторых из них используется этот «эффект лотоса», а в других — прямо противоположный эффект сверхгидрофильности в сочетании с каталитическими химическими реакциями.
- В изделиях будущего эти два противоположных эффекта могут сочетаться, или могут использоваться вещества, способные переключаться между сверхгидрофобным и сверхгидрофильным состояниями, что позволит управлять потоками жидкостей в микрофлюидических устройствах.

«ЭФФЕКТ ЛОТОСА»

Удивительная способность листьев лотоса сохранять чистоту подвигла ученых на создание самоочищающихся материалов



Вода совершенно не прилипает к листу лотоса, поэтому капли скатываются с него, унося с собой грязь

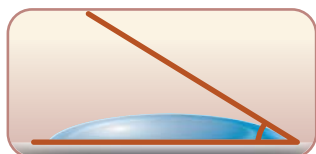


Микроскопические (высотой в несколько микрометров) бугорки, покрывающие поверхность листа лотоса, — основа его водоотталкивающей способности. Грубое покрытие из наномасштабных воскоидных кристаллов на верхушках этих бугорков усиливает этот эффект

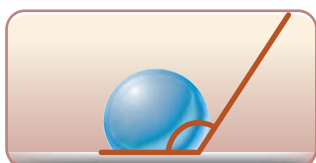
ФИЗИКА ЛОТОСА

Эффект самоочищения листьев лотоса обусловлен исключительной гидрофобностью (способностью отталкивать воду) их поверхности. Гидрофобность или гидрофильность (смачиваемость) материала определяется краевым углом между его поверхностью и поверхностью воды на их границе

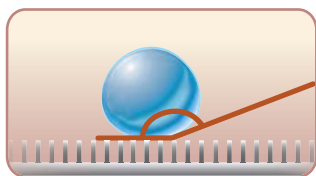
КРАЕВЫЕ УГЛЫ



ГИДРОФИЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ
МЕНЬШЕ 30°



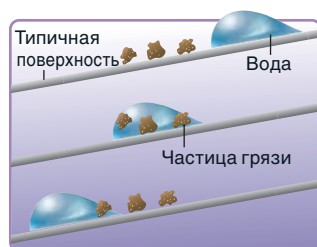
ГИДРОФОБНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ
БОЛЬШЕ 90°



СВЕРХГИДРОФОБНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ
БОЛЬШЕ 150°

Большое значение краевого угла обусловлено бугорками, которые удерживают воздух между водой и поверхностью листа, минимизируя площадь их контакта.

КАК ЛОТОС САМООЧИЩАЕТСЯ



По типичной (не слишком гидрофобной и не слишком гидрофильной) поверхности листа капля воды скользит, почти не захватывая с собой прилипших к нему частиц грязи.



По сверхгидрофобной поверхности капля воды скатывается, захватывая частицы грязи и унося их с собой, потому что сродство между водой и грязью больше, чем сродство воды и грязи с поверхностью листа.

Соперник компании *Nano-Tex* — швейцарская компания *Schoeller Textil AG*, которая дала своей технологии название *Nano-Sphere*. Она основана на прикреплении к волокнам ткани наночастиц диоксида кремния или полимера, которые придают им бугорчатость, как у листьев лотоса.

Поскольку в порядке рекламы нанотехнологических продуктов выдается множество непроверенных утверждений, органы стандартизации начали проводить строгие испытания самоочищающихся тканей на основе этих новых технологий. В октябре 2005 г. Научно-исследовательский институт Гогенштейна в Германии, предлагающий тестирование и сертификацию для торговли и промышленности во всем мире, заявил, что *Nano-Sphere* стала первой маркой самоочищающихся тканей, успешно прошедшей весь цикл испытаний, включая испытания на водоотталкивающую способность, способность сохранять свои свойства после обычных стирок и износостойкость. В ходе опытов, проведенных автором, образцы ткани *Nano-Sphere* показали впечатляющую способность очищаться от пятен жирных томатных соусов, кофе и красного вина — одних из самых трудноудаляемых веществ.

Легко отстирываемые ткани получают все более широкое распро-

странение, но ожидается, что крупнейшая доля их продаж придется на покупателей маркизов, занавесей и парусов: вряд ли найдутся большие любители их стирать.

Сверхсмачиваемость

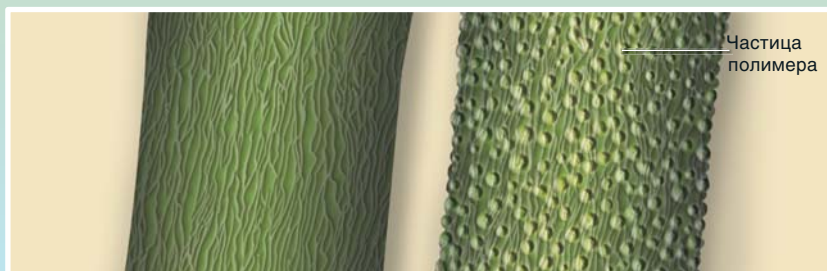
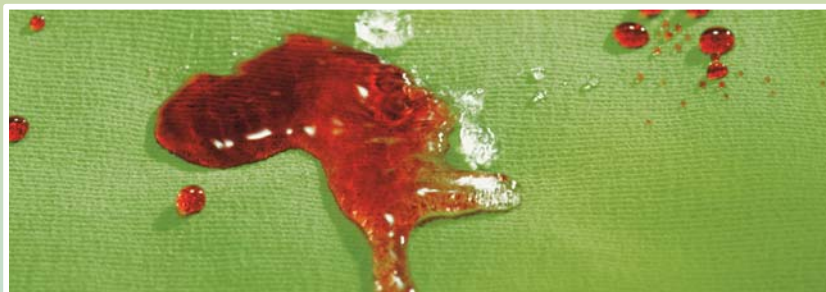
Исследование эффекта лотоса было предпринято как попытка понять природу способности к самоочищению одного типа поверхности: воскообразной с микроскопическими и даже наномасштабными структурами. Сегодня эти исследования развились в совершенно новую область науки — науку о смачиваемости, самоочищении и самообеззараживании. Ученые поняли, что сверхгидрофобности можно достичь разными путями, а также что интерес может представлять и противоположное свойство — сверхгидрофильность. Главный герой в области сверхгидрофильности — диоксид титана (TiO_2).

Его «восхождение в звезды» началось больше 40 лет назад, и было обусловлено свойством, не имеющим никакого отношения к смачиваемости. В 1967 г. аспирант Токийского университета Акира Фудзисима (Akira Fujishima) обнаружил, что под действием ультрафиолетового (УФ) излучения TiO_2 может разлагать воду на водород и кислород. Это разложение, или фотолиз, было давней мечтой ученых: если бы удалось добиться высокой его эффективности, это сделало бы производство водорода настолько дешевым, что он стал бы конкурентоспособным заменителем ископаемых видов топлива, к тому же не содержащим углерода. Фудзисима и другие ученые в итоге поняли, что коммерческий результат — дело очень далекого будущего.

Исследования показали, что тонкий (толщиной от нанометров до микрометров) слой TiO_2 работает эффективнее, чем более крупные частицы. И в 1990 г., после того как Фудзисима объединил усилия с Кадзухито Хасимото (Kazuhito Hashimoto) из Токийского университета и Тосия Ватанабе (Toshiya Watanabe) из компании TOTO, про-

СПОСОБ СОХРАНЯТЬ ЧИСТОТУ

Текстильные компании производят ткани, которые «сбрасывают» воду и другие пищевые жидкости, т.к. обладают сверхгидрофобностью подобно листьям лотоса (фото). Этот эффект обусловлен специальной обработкой хлопковых волокон. На схеме внизу слева показано необработанное волокно, а справа — волокно с прикрепленными к нему наночастицами полимера, образующими бугорки. Микро- или наномасштабной шероховатостью, создающей «эффект лотоса», обладают и многие другие изделия, например краски для фасадов зданий и черепица



Необработанное хлопковое
волокно

Обработанное хлопковое
волокно

изводящей сантехническое оборудование, выяснилось, что пленки TiO_2 наномасштабной толщины, активированные УФ-излучением, обладают фотокаталитическим эффектом, разлагая органические соединения (в частности те, из которых состоят стенки клеток бактерий) на углекислый газ и воду.

Фотокаталитический эффект TiO_2 обусловлен его полупроводниковой природой, т.е. тем, что для перевода электронов в нем из так называемой валентной зоны, где все энергетические уровни заполнены, через запрещенную зону в пустую зону проводимости, где электроны мо-

гут перемещаться, создавая электрический ток, требуется сравнительно небольшая энергия. В случае TiO_2 для этого достаточно энергия УФ-фотона с длиной волны около 388 нм, и в результате такого процесса возникают два подвижных заряда: электрон, переброшенный в зону проводимости, и дырка, оставшаяся на его месте в валентной зоне и ведущая себя как положительно заряженная частица (врезка на следующей стр.). Пока эти заряды остаются не связанными, они могут взаимодействовать с водой и кислородом на поверхности TiO_2 , образуя анионы-радикалы перекиси (O_2^-)

ОБ АВТОРЕ

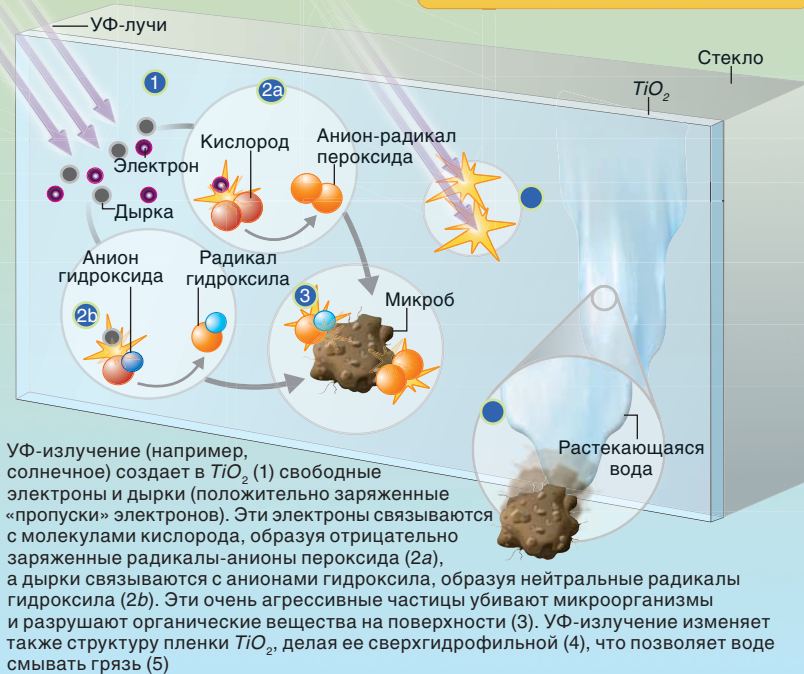
Питер Форбс (Peter Forbes) — писатель, популяризатор науки. В 2006 г. он выпустил книгу «Лапка геккона» (*The Gecko's Foot*), в которой рассматривает различные технологии, имитирующие природу или подсказанные ею. Он был также редактором сборника *Scanning the Century: The Penguin Book of Twentieth Century in Poetry* (2000).

САМООЧИЩАЮЩИЙСЯ TiO_2

Тонкие пленки TiO_2 обладают свойством, прямо противоположным свойству листьев лотоса — сверхгидрофильностью. Тем не менее они тоже сбрасывают с себя грязь. Кроме того они обладают антимикробными свойствами

Что делает вода

На сверхгидрофильной поверхности вода образует слой, который, стекая, легко отделяет и уносит с собой грязь. Кроме того сверхгидрофильность предотвращает запотевание поверхности, поскольку вода растекается по ней вместо того, чтобы формировать множество мелких капелек, замутняющих поверхность



и активные радикалы гидроксила (OH), способные разлагать органические соединения на углекислый газ и воду.

В середине 1990-х гг. эти три японских ученых сделали еще одно важное открытие, когда изготовили из водной взвеси частиц TiO_2 тонкую пленку и отожгли ее при 500°C : оказалось, что полученное прозрачное покрытие после УФ-облучения приобретает исключительное свойство полной — с нулевым краевым углом — смачиваемости и маслом, и водой. УФ-излучение удалило с поверхности пленки часть атомов кислоро-

да, образовав на ней мозаику наномасштабных доменов с адсорбированными гидроксилами, обеспечивающими сверхгидрофильность. Участки вне этих доменов обуславливали большое сродство с маслом. Названный эффект сохранялся в течение нескольких суток после облучения, но в темноте TiO_2 постепенно возвращался в исходное состояние.

Несмотря на то что данный эффект прямо противоположен отталкиванию воды листьями лотоса, он также оказался полезным для самоочистки: вода растекается повсюду, образуя слой, который уносит

с собой грязь. При этом поверхность не запотекает, поскольку конденсирующаяся на ней жидкость не образует множества мелких капелек, затуманивающих поверхность, а растекается. Фотокаталитическое действие TiO_2 способствует также дезодорированию и дезинфекции покрытий, разлагает органические соединения и убивает бактерии.

Отрасль нанесения покрытий из TiO_2 бурно развивается. В частности компания TOTO выпускает ряд фотокаталитически самоочищающихся изделий, включая керамические плитки для внешней отделки, и продает во всем мире лицензии на свою технологию.

Поскольку нанопокрывания из TiO_2 прозрачны, естественным развитием технологии стало производство оконных стекол с такими покрытиями. Первыми их выпустила на рынок в 2001 г. под названием «активное стекло» (Active Glass) британская компания Pilkington, крупнейший в Соединенном Королевстве производитель стекла. Обычно листовое стекло формируется при температуре около 1600°C на поверхности расплавленного олова. Для получения активного стекла над стеклом в процессе охлаждения пропускаются пары тетрахлорида титана (TiCl_4), в результате чего на поверхности образуется пленка TiO_2 толщиной около 20 нм. В Великобритании активное стекло быстро становится главным материалом для остекления теплиц и для зеркал заднего вида у транспортных средств.

К сожалению, обычное оконное стекло не пропускает УФ-излучение, которое активирует TiO_2 , и поэтому внутри помещений нанослой TiO_2 менее полезен, чем снаружи. Выход состоит в «легировании» TiO_2 другими веществами, как легируют кремний и другие полупроводники в электронной промышленности. Легирование может уменьшить ширину запрещенной зоны, благодаря чему активировать фотокатализ сможет и более длинноволновое излучение, используемое для освещения помещений. В 1985 г. Синри Сато (Shinri Sato) из Хоккайдского

университета в Японии случайно обнаружил полезность легирования TiO_2 азотом. Можно использовать для легирования и серебро. Однако коммерческие процессы на основе таких покрытий были разработаны лишь недавно.

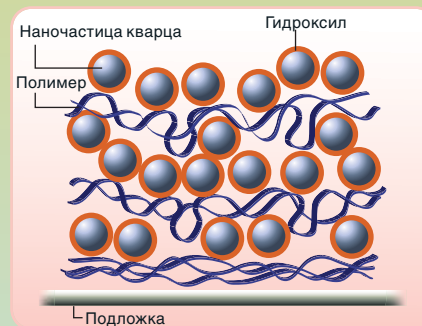
Ожидается, что дезодорирующие и антибактериальные свойства легированного TiO_2 найдут широкое применение на кухнях и в ваннных комнатах. Это вещество применяется также в производстве самоочищающихся тканей, придавая им дополнительное свойство устранять запахи. Для закрепления его на тканях рассматриваются различные методы, включая создание прямых химических связей.

Сближение противоположностей

Материалы, созданные под влиянием эффекта лотоса, и тонкие пленки TiO_2 представляются полными противоположностями, редко встречающимися в обычной жизни, где, по словам английского поэта Филипа Ларкина (Philip Larkin), «ничто не делается опять новым и не отмывается до полной чистоты». Долгое время методы и материалы были совершенно различными, и исследования эффекта сверхгидрофобности и каталитической сверхгидрофильности шли полностью раздельно. Однако в последнее время наметилось сближение, и ученые работают над сочетанием этих двух эффектов и получением обоих с помощью сходных материалов. Они рассматривают даже возможность «переключения» одной и той же структуры между сверхгидрофобным и сверхгидрофильным состояниями. Первый намек на сближение поступил в 2000 г. от пионеров TiO_2 Фудзисимы, Ватанабе и Хасимото. Они хотели использовать это вещество для продления действия «эффекта лотоса». Сначала данный подход представлялся безнадежным: казалось, что фотокаталитическая активность TiO_2 должна воздействовать на воскообразное гидрофобное покрытие и разрушать «эффект лотоса». И действительно, при боль-

Исследователи из Массачусетского технологического института создали многослойные сверхгидрофильные покрытия, которые не запотевают и создают просветляющий эффект

Чередующиеся слои полимера и наночастиц кварца (с гидроксильными группами на их поверхности) образуют сверхгидрофильное покрытие. Такие покрытия можно создавать на поверхности стекла и других материалов. Поверхность этого покрытия имеет наномасштабную шероховатость, но гидроксилы очень гидрофильны, что позволяет нанопорам в многослойном покрытии впитывать воду подобно губке, быстро всасывая ее с поверхности



Стеклоплатинка с таким покрытием остается прозрачной даже после того как была охлаждена в холодильнике и затем перенесена в теплый влажный воздух (слева) — в атмосферу, вызывающую сильное запотевание стекла, не имеющего такого покрытия (справа)

ших концентрациях TiO_2 такое воздействие наблюдалось. Однако исследователи нашли, что добавление очень малого количества TiO_2 может значительно продлить действие «эффекта лотоса», не вызывая существенного изменения большого краевого угла, который необходим для эффективного отталкивания воды.

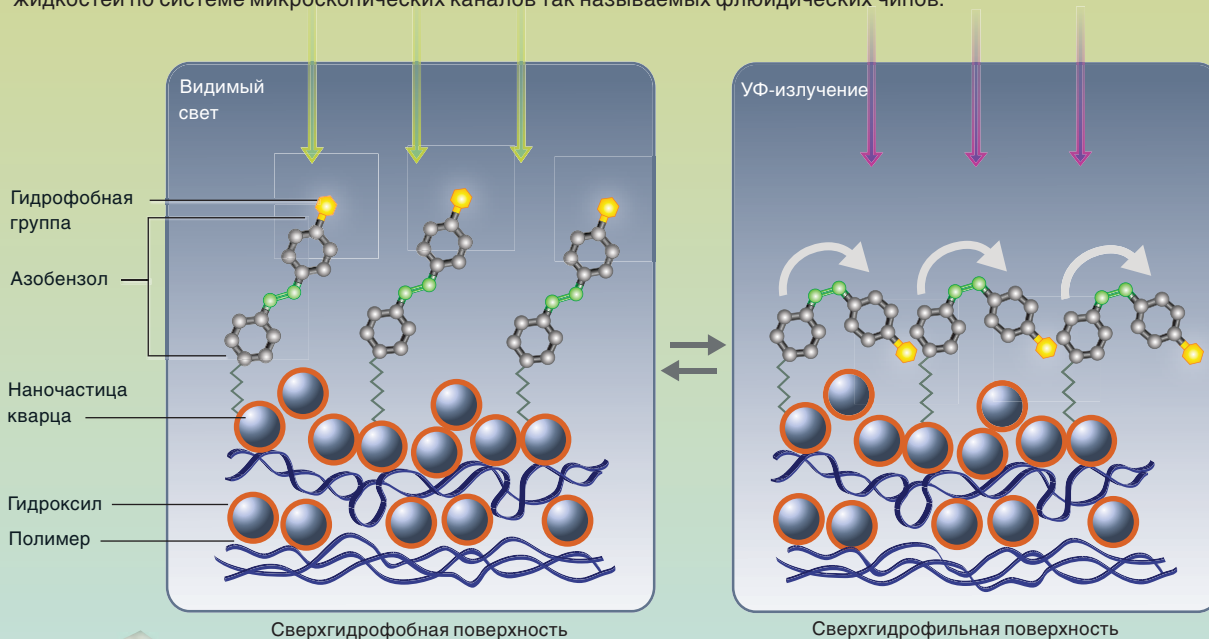
В 2003 г. в лаборатории Рабнера и Коэна было показано, что от небольшого изменения структуры может зависеть то, какой получится поверхность — гидрофобной или гидрофильной. Во время поездки в Китай, вспоминает Рабнер, он «был восхищен некоторыми гидрофобными структурами», упоминавшимися на встрече. По возвращении он поручил своей группе попробовать создать подобные структуры. Его лаборатория разработала метод послойного изготовления тонких пленок

соединений из класса полиэлектролитов. Обычные электролиты — это вещества, которые в водном растворе разлагаются на положительно и отрицательно заряженные ионы. Примерами могут служить соль или серная кислота. А полиэлектролиты — это органические полимеры, пластичные вещества, способные в отличие от большинства полимеров иметь положительный или отрицательный электрический заряд.

Рабнер и Коэн создавали «стопку» из чередующихся слоев положительно заряженного поли(аллилам-ингидрохлорида) и отрицательно заряженных частиц кварца (SiO_2). (В предшествующих работах они использовали покрытие из таких частиц для моделирования шероховатой поверхности листьев лотоса.) К этим многослойным структурам они добавляли окончательное по-

ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Ученые надеются, переключая степень гидрофобности определенных участков поверхности, управлять движением жидкостей по системе микроскопических каналов так называемых флюидических чипов.



Ученые из Пхоханского научно-технического университета в Южной Корее нанесли на многослойное кварцево-полимерное покрытие (врезка на предыдущей стр.) слой соединения на основе молекулы азобензола. Гидрофобная группа на конце такой молекулы в сочетании с шероховатостью слоев покрытия делает поверхность сверхгидрофобной (слева). Однако УФ-излучение изгибает эти молекулы, так что гидрофобная группа оказывается укрытой в глубине, что делает поверхность сверхгидрофильной (справа). Дневной свет быстро возвращает поверхность в исходное состояние

На обработанной поверхности вода прилипает к одним участкам (квадратики), которые УФ-облучение сделало сверхгидрофильными, а на других образует характерные почти сферические капельки, как на листьях лотоса

крытие из гидрофобного силикона, но по ходу дела заметили нечто интересное: до нанесения силикона их многослойный пирог был сверхгидрофильным. В экспериментах Рабнера и Коэна слои кварца создавали огромный лабиринт нанопор, образуя губку, которая мгновенно впитывала поверхностьную воду — этот эффект называется нанопитыванием. Созданные ими многослойные кварцево-полимерные структуры не запотевают даже над кипящей водой. Когда поры заполняются, вода начинает стекать с края. Когда же влажность уменьшается, жидкость из нанопор постепенно испаряется.

Такие многослойные структуры очень хорошо подходят для нанесения на стекло, поскольку SiO_2 — его основной компонент. Сверхгидро-

фильное покрытие не только прозрачно и не запотевают, но и является просветляющим (антиотражающим). Группа Рабнера работает с партнерами из промышленности над коммерциализацией этого открытия, которое может быть использовано для создания незапотевающих зеркал для ванных комнат и ветровых стекол автомобилей, которым не понадобится обдув вентилятором в дождливую погоду. В отличие от TiO_2 , покрытия Рабнера работают в темноте не хуже, чем на свету.

Хитроумные жучки

За миллионы лет до того как ученые соединили вместе для технических приложений «эффект лотоса» и сверхсмачиваемость, маленькие жучки из пустыни Намиб на юге Африки использовали эти два эффекта

с иной целью — собирания воды для поддержания своей жизни.

Климат в пустыне Намиб исключительно суров. Дневная температура там достигает 50°C , а дождей почти нет. Едва ли не единственным источником влаги там бывают густые утренние туманы, приносимые сильным бризом. Жук *Stenocara sp.* выработал способ собирания воды из этих туманов: он приседает, обращаясь против несущего туман ветра, так чтобы голова была ниже задней части. Влага конденсируется на его спинке и стекает к нему в рот. Физические основы действий этого насекомого натолкнули ученых на идею использования их для собирания влаги в засушливых областях.

Как часто случается, механизм собирания влаги жуком *Stenocara sp.*

был открыт ученым, который искал совсем другое. В 2001 г. зоолог Эндрю Паркер (Andrew R. Parker), работавший тогда в Оксфордском университете, наткнулся на фотоснимок жуков, поедающих саранчу в пустыне Намиб. Саранча, которую занесло туда сильными местными ветрами, погибала, как только попадала на песок. А вот жуки, пожирающие это принесенное ветром угощение, выглядели вполне благополучно. Паркер предположил, что спинки этих насекомых должны обладать неким свойством, которое позволяло бы им отражать тепло. Здесь должен действовать какой-то вариант «эффекта лотоса», помогающий им собирать воду по утрам. Большая часть поверхности тела жука *Stenocara sp.* бугорчата, воскообразна и сверхгидрофобна. Однако на верхушках бугорков «воска» нет, и они гидрофильны. Эти гидрофильные участки захватывают из тумана влагу, которая собирается в капли, быстро вырастающие до таких размеров, что сила тяжести и действие окружающей сверхгидрофобной поверхности сдвигают их с места. В ходе лабораторных опытов со стеклянными пластинками Паркер установил, что такое сочетание разнородных участков почти вдвое эффективнее гладкой однородной поверхности независимо от того, гидрофильна она или гидрофобна.

Паркер запатентовал конструкцию, моделирующую механизм собирания воды у жука, а британская компания *GinetiQ*, подрядчик военного министерства Соединенного Королевства, разработала технологию ее производства для сбора воды в засушливых областях. Попытки подражать жуку *Stenocara* принимали и другие. В 2006 г. группа Рабнера и Коэна сумела создать сверхгидрофильные пятнышки на сверхгидрофобных многослойных структурах. Система оказалась даже лучше чем у жука *Stenocara*, у которого верхушки бугорков просто гидрофильны.

Новая наука о сверхсмачиваемости, иллюстрируемая этими искус-

ственными *Stenocara*-поверхностями, делает возможным управление потоками жидкостей в микро- и наномасштабах для применения в областях, выходящих далеко за пределы нужд поддержания чистоты поверхностей. Рабнер говорит: «Раз вы поняли, что структурированные поверхности в зависимости от химической природы верхушек могут быть как сверхгидрофильными, так и сверхгидрофобными, перед вами открываются все возможности». Особенно полезными будут «переключаемые» поверхности, смачиваемость которых в выбранных местах можно будет обращать.

Такой переключаемости можно достичь разными путями: воздействием УФ-излучения, электрического поля, температуры, растворителей или кислот. В 2006 г. группа Килвон Чо (Kilwon Cho) из Пхоханского научно-технического университета в Южной Корее добились полной переключаемости, добавив к покрытой силиконом сверхгидрофобной поверхности с многослойной кварцево-полимерной структурой соединение на основе молекулы азобензола. Новая поверхность также сверхгидрофобна, но при УФ-облучении азобензольное соединение меняет конфигурацию и становится сверхгидрофильным (*врезка на стр. напротив*).

Видимый свет обращает это изменение. Такой способ управления может найти широкое применение в микрофлюидике, например в микроструктурах, применяемых сегодня для массовой проверки лекарств и других биохимических тестов (см.: Чой Ч. Большая лаборатория в маленьком чипе // *ВМН*, 2008, № 1). В частности, гидрофильные каналы можно запылять и отпылять, делая часть их то гидрофобной, то гидрофильной.

Остаться сухим в воде

Проникновение сияния лотоса в неизвестные ранее ямки и трещинки и распространение его за пределы области самоочищения стало одним из приятных сюрпризов XXI в.

Бартлотт, который узрел перспективу в капле воды на листе лотоса, сегодня видит почти безграничные возможности. Но тех, кто хочет перейти от природы к технологии, он предупреждает, что они, как и он в свое время, встретят большой скептицизм. «Верьте своим глазам, а не учебникам, и если результаты ваших наблюдений будут повторяться, публикуйте их, — советует он. — Но будьте готовы и к худшему: ваши предположения могут быть отвергнуты».

Как и следовало ожидать, Бартлотт остается горячим сторонником использования разнообразия форм жизни, указывая, что полезными свойствами могут обладать многие другие растения и животные, включая не известные науке и находящиеся под угрозой исчезновения. Сегодня он занимается в частности исследованием сверхгидрофобности в воде. Поняв, как растения вроде пистии (*Pistia*) и сальвинии плавающей (*Salvinia*) удерживают воздух на поверхности своих листьев, Бартлотт создал ткани, остающиеся в воде сухими в течение четырех суток. Они могут пригодиться для ненамокающих купальников. Технология может быть полезной для уменьшения лобового сопротивления корпусов судов. Лотос не собирает грязи, но собрал впечатляющую связку патентов. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Lotus Effect. Hans Christian von Baeyer in *The Sciences*, Vol. 40, No. 1, pages 12–15; January/February 2000.
- Water Capture by a Desert Beetle. Andrew R. Parker and Chris R. Lawrence in *Nature*, Vol. 414, pages 33–34; November 1, 2001.
- Self-Cleaning Surfaces — Virtual Realities. Ralf Blossey in *Nature Materials*, Vol. 2, No. 5, pages 301–306; May 2003.
- The Gecko's Foot. Peter Forbes. W. W. Norton, 2006.
- Patterned Superhydrophobic Surfaces: Toward a Synthetic Mimic of the Namib Desert Beetle. Lei Zhai et al. in *Nano Letters*, Vol. 6, No. 6, pages 1213–1217; June 2006.



Джон Риганолд и Дэвид Хаггинс

БЕСПАХОТНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ: тихая революция

Вековая практика перепашивания земли перед очередной посадкой культуры — основная причина деградации сельхозугодий. Поэтому сегодня многие фермеры переходят на новую технологию обработки почвы

Джон Эшлиман (John Aeschliman) занят своим обычным делом: ловко орудуя лопатой, он перекапывает землю на своей ферме площадью 4000 акров (404 га) в районе городка и реки Палус на востоке штата Вашингтон. Темная почва легко крошится, открывая пористую структуру и большое количество органического вещества, которое способствует росту корней. Тут же видна масса земляных червей — еще один признак здорового состояния почвы.

А ведь еще 34 года назад, копнув лопатой в этом же месте, можно было найти лишь редких единичных червей. Тогда перед посевом Эшлиман каждый раз вспахивал эти поля, закапывая остатки от предыдущей жатвы и готовя почву для нового урожая. Холмистая поверхность района Палуса обрабатывалась подобным образом десятилетиями. Результаты такой обработки плачевны: некогда известная своей плодородностью, почва района эродировала с угрожающей скоростью. В 1974 г., убедившись в существовании лучшего способа возделывания полей, Эшлиман решил испытать совершенно новую технологию, которая получила название беспашотной, или «нулевой» обработки почвы (*no-till*).

Обычно перед посевом большинство фермеров в мире вспахивают землю плугом. Тем самым они обеспечивают ее проветривание и прогревание, а также закапывают в нее пожнивные (растительные) остатки, навоз и сорняки. Однако при подобной обработке происходит нарушение структуры почвы, возрастает ее подверженность ветровой и водной эрозии. Перепашивание — первопричина деградации почвы сельхозугодий, одной из острейших глобальных экологических проблем, которая ставит под угрозу производство в мире продуктов питания и добычу сельскими жителями средств к существованию — в особенности в бедных и густонаселенных районах развивающихся стран. Так, из-за эрозии почвы к концу 1970-х гг. на 10% пахотных угодий в районе Па-

лус был потерян весь поверхностный слой, а еще на 60% утрачен на 25–75%. Вспашка полей может также способствовать стоку полезных отложений, минеральных удобрений и пестицидов в реки, озера и океаны. В противоположность этому технология беспашотной обработки почвы сводит нарушение структуры почвы до минимума. При использовании этой технологии на полях остаются пожнивные остатки, которые выступают в роли рыхлого защитного слоя, предохраняющего почву от эрозии и повышающего ее плодородие. Для посадки семян фермеры используют особой конструкции сеялки, проникающие сквозь этот слой к неповрежденной почве, в которой эти семена прорастают, а ростки благополучно выходят на поверхность.

Стремясь накормить растущее мировое население, сельское хозяйство активно развивается, оказывая все большее воздействие на окружающую среду, здоровье людей и биоразнообразие. Однако на сегодняшний день уровень знаний о возможностях нашей планеты мы понимаем, что недостаточно производить необходимое количество продовольствия — делать это нужно еще и экологически рационально. Добиваясь высокой урожайности, фермеры должны сберегать природные ресурсы для будущих поколений и при этом получать определенный доход. Беспашотная обработка почвы — технология, которая может помочь в реализации идеи о более экологически рациональном сельском хозяйстве. Как и при любой другой новой технологии, в этом случае иногда возникают трудности и требуются комплексные решения. Тем не менее земледельцы в разных частях света

все чаще отказываются от использования плуга.

Вперед с плугом

С тех пор как люди начали заниматься земледелием (около 10 тыс. лет назад), они применяли оба способа обработки земли: используя вспашку или отказываясь от нее. В период неолита, при переходе от охоты и собирательства к выращиванию съедобных растений, наши предки разбивали «огороды» возле своих жилищ, дополняя урожай другими видами пищи в дикой природе. Некоторые прибегали к самому раннему виду беспашотной обработки почвы — делая палками углубления, бросали в каждую ямку зерно и присыпали сверху землей. Другие для посадки семян «процарапывали» землю палкой, что можно считать изначальной формой пахоты. Впрочем, в развивающихся странах тысячи земледельцев ограничены все теми же примитивными способами высевания культур и сегодня.

После появления плуга обычным стал механический способ обработки почвы, который использовался для засеивания полей и борьбы с сорняками, благодаря чему труд немногих позволял прокормить большое число людей. Самые примитивные плуги состояли из рамы с вертикально закрепленным куском дерева, который взрезал верхний слой почвы. Вероятно, первые подобные орудия приводили в действие два человека: один из них тащил, а второй направлял этот плуг. С одомашниванием крупных животных — например быков в Месопотамии примерно в VI тыс. до н.э. — тягловая функция перешла к ним. Следующий важный шаг был сделан в середине IV тыс. до н.э., когда древние

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Современное пахотное земледелие создает условия для почвенной эрозии и поверхностного стока с сельхозугодий.
- В разных частях света земледельцы переходят на экологически рациональную беспашотную технологию, которая сводит к минимуму нарушение структуры почвы.
- Широкое распространение беспашотной технологии сдерживается помимо всего прочего высокой стоимостью оборудования и некоторыми неожиданными открытиями.

ВЕХИ ИСТОРИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Оба способа обработки земли, без использования и с использованием плуга, имеют давнюю историю, хотя со временем благодаря техническому совершенствованию плуга возобла-

дал второй из них. Впрочем, в последние несколько десятилетий успехи в создании гербицидов и сельхозмашин сделали беспашотную технологию применимой в коммерческих масштабах

8000 лет до н.э.

Посадочная палка, изначальная форма беспашотной технологии, позволяет сажать зерна без обработки почвы

Примитивный плуг,

самое раннее подобное орудие, которое процарапывает надпочвенный покров и создает борозду, куда бросаются зерна

6000 лет до н.э.

Тягловые животные тащат плуг вместо людей

3500 лет до н.э.

Лемех, клинообразная часть плуга с железным лезвием, которая рыхлит верхний слой почвы

1100 г. (?)

Отвалный плуг

имеет изогнутую пластину (отвал), которая переворачивает землю, засыпая сорняки и пожнивные остатки

Середина XIX в.

Стальной отвалный плуг,

изобретенный Д. Диром

в 1837 г., позволяет взрезать дерн прерий

Начало XX в.

Тракторы,

которые могут тащить сразу много плугов

1940-1950-е гг.

Гербициды — такие как 2,4-D, атразин и паракват — позволяют земледельцам бороться с сорняками, не подвергая почву сильной обработке

1960-е гг.

Сеялки для беспашотной технологии

проделывают маленькую бороздку для семян, минимально нарушая структуру почвы



египтяне и шумеры создали лемех — клинообразной формы деревянную часть плуга с окованным железом лезвием, которая рыхлила верхний слой почвы. К XI в. жители Европы использовали дальнейшее развитие этой конструкции в виде изогнутой пластины, именуемой отвалом, которая переворачивала и отбрасывала взрезанную землю в сторону.

Благодаря продолжению совершенствования плуга в середине XIX в. началось бурное развитие сельского хозяйства на целинных землях. Земледельцы успешно культивировали естественные поросшие травой степи в Восточной Европе, Южной Африке, Канаде, Австралии, Новой Зеландии и США, превращая их в поля, на которых выращивались кукуру-

за, пшеница и прочие сельхозкультуры. В одном из таких регионов — высокотравных прериях на Среднем Западе США — обработка земли была затруднена наличием толстого прочного дернового по-крова. Однако в 1837 г. кузнец Джон Дир (John Deere) из штата Иллинойс изобрел особый плуг с отвалом из хорошо полированной стали, который мог взрезать такой дерн. Сегодня эти некогда степные земли, куда входит значительная часть знаменитого «кукурузного пояса», стали одним из наиболее продуктивных сельскохозяйственных регионов в мире.

С продолжением механизации сельского хозяйства в начале XX в. появлялись все новые орудия, помогавшие земледельцам еще более интенсивно обрабатывать почву, в том числе тракторы, которые могли тянуть за собой сразу много плугов.

Одновременно назревала необходимость критически рассмотреть сам способ обработки земли. Проблема «Района пыльных бурь»*, возникшая в США в период 1931–1939 г., выявила отрицательные стороны вспашки почвы: с расположенных к югу равнин, пораженных засухой, ветром уносился ценный верхний почвенный слой, из-за чего погибали растения и разорялись фермеры. Именно тогда возникло движение за сохранение почвы, а специалисты-агрономы начали изучать технологию минимальной пашотной обработки земли, предполагавшую сохранение на полях пожнивных остатков в качестве защитного слоя. Дополнительный импульс этому движению придала вышедшая в 1943 г. книга «Глупость пахаря» (*Plowman's Folly*) американского агронома Эдварда Фолкнера (Edward Faulkner), в которой он подвергал сомнению необходимость вспашки земли. Радикальная постановка вопроса Фолкнером приобрела еще больший смысл с появлением после второй мировой войны гербицидов — таких как 2,4-D, атразин и паракват — и началом в 1960-е гг. серьезных исследований по современным методам беспашотного земледелия.

С учетом традиционно центральной роли вспашки полей в земледелии совсем отказаться от подобной обработки почвы оказалось непрос-тым делом, потребовавшим пересмотра практически всех моментов сельскохозяйственного производства. Тем не менее уже с 1960-х гг. начали выпускаться особой конструкции сеялки, отвечающие требованиям технологии беспашотной обработки почвы. Эти новые сеялки, а также химические гербициды — вот две основные составляющие,

которые позволили земледельцам эффективно и в коммерческих масштабах наконец начать использовать новую технологию.

За беспашотную обработку почвы

Сегодня, готовясь к посадке культур, фермеры в разной степени нарушают структуру почвы. Перепахивание отвальным плугом означает полное переворачивание верхнего слоя земли толщиной 15–25 см, который накрывает собой основную часть пожнивных остатков. В свою очередь чизельный плуг разрушает лишь почвенную корку, а после него на поверхности остается значительно больше таких растительных остатков. По технологии беспашотной обработки земли вдоль каждого ряда посадок продельвается бороздка шириной чуть более 1 см и глубиной 7,5 см, в которую бросаются семена для посева, что вызывает минимальное нарушение структуры почвы в целом. В США беспашотное земледелие входит в более широкое понятие «противоэрозионная обработка почвы» Министерства сельского хозяйства. Это понятие предполагает любой метод сохранения по меньшей мере на 30% поверхности засеянных площадей растительных остатков от предыдущего урожая. Защитный эффект подобной меры весьма значителен. По данным из Кадастра природных ресурсов этого министерства, в период 1982–2003 г. почвенная эрозия от воды и ветра на пахотных угодьях США сократилась на 43% в немалой степени благодаря распространению противоэрозионной обработки почвы.

Защита почвы — не единственный положительный результат применения беспашотной технологии. Находящиеся на поверхности поля пожнивные остатки уменьшают поверхностный сток и увеличивают проникновение в почву влаги. Уменьшение поверхностного стока в свою очередь сокращает загрязнение близлежащих водных источников сносимыми с полей компонентами почвы, удобрениями

ПРЕПЯТСТВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЮ

Несмотря на то что беспашотная технология теоретически применима на большей части мировых сельхозугодий, высокая стоимость требуемого оборудования и гербицидов делает ее недоступной для многих земледельцев, основная часть которых имеет небольшие земельные наделы. Кроме того, вынужденные из-за нищеты использовать пожнивные остатки и навоз в качестве топлива, эти земледельцы думают скорее о краткосрочных заработках, чем об инвестициях в перспективные проекты.

Из 525 млн земельных наделов во всем мире примерно 85% имеют площадь менее 5 акров (2,02 га). Причем подавляющее большинство этих крошечных наделов — около 87% — находится в Азии (фото), тогда как в Африке их 8%.

Вероятность распространения в этих регионах беспашотной технологии, где ее потенциальный эффект максимален, крайне мала



и пестицидами. Кроме того эти растительные остатки сохраняют в почве влагу, уменьшая ее испарение. В случаях, когда производительность сельхозугодий ограничивается из-за нехватки воды, более рациональное ее использование может означать увеличение урожая или большие возможности в выращивании альтернативных культур.

Беспашотная технология способствует также увеличению разнообразия почвенной флоры и фауны, обеспечивая живущим в почве организмам — например земляным червям — питание в виде растительных остатков и стабилизацию их среды обитания. Вместе с ростом содержания в земле органического вещества такие условия способствуют образованию более устойчивой почвенной структуры, расширяющей возможности для выращивания сельхозкультур, повышается способность этих культур противостоять стрессам из-за сельскохозяйственных работ или неблагоприятного воздействия окружающей среды. Тако-

го рода технология позволяет проводить более экологически рациональную обработку земли на полях с умеренным или значительным уклоном поверхности, которые подвержены повышенному риску эрозии и других проблем.

Внедрение беспашотной технологии позитивно сказывается на диких животных, поскольку стоящая в полях стерня и другие пожнивные остатки, включая просыпанное зерно, обеспечивают укрытие и пищу для охотничье-промысловых и других видов птиц. По материалам одного исследования, опубликованном в 1986 г., в полях штата Айова, которые обрабатывались по беспашотной технологии, гнездовались 12 видов диких птиц, тогда как в перепахиваемых полях — только лишь 3 вида.

Кроме того с сокращением вспашки полей при помощи традиционного отвального плуга увеличивается связывание углерода в почве — один из основных способов борьбы с парниковыми газами в сельском хозяйстве. В процессе фото-

ОБ АВТОРАХ

Джон Риганолд (John P. Reganold) — профессор почвоведения Университета штата Вашингтон в г. Пулмен и специалист по экологически рациональному сельскому хозяйству. Это его третья статья для журнала *Scientific American*.

Дэвид Хаггинс (David R. Huggins) — ученый-почвовед Службы сельскохозяйственных исследований Министерства сельского хозяйства США, а также исследовательской группы по землеустройству и охране водных ресурсов, г. Пулмен, штат Вашингтон. Он специализируется по почвозащитным системам земледелия и их влиянию на кругооборот и сток почвенного углерода и азота.

СОПОСТАВЛЕНИЕ С БЕСПАХОТНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

Здесь сопоставлены три системы обработки почвы при выращивании в «кукурузном поясе» США соевых бобов в севообороте с кукурузой. Беспашотная технология требует наименьшего числа проходов сельхозтехники по полю

БЕСПАХОТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

1. Внесение гербицида
2. Посадка
3. Внесение гербицида
4. Уборка урожая

Пожнивные остатки сои и кукурузы покрывают поверхность почвы, сохраняя влагу и уменьшая эрозию на 70–100%

После уборки урожая стоящие стебли и упавшие зерна кукурузы дают укрытие и пищу диким животным

ПРОТИВОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ

1. Вспашка чизельным плугом, запахивание до 50% пожнивных остатков
2. Обработка лапчатым культиватором
3. Посадка
4. Внесение гербицида
5. Обработка междурядным культиватором
6. Уборка урожая

Пожнивные остатки сои покрывают 30% поверхности почвы, уменьшая эрозию вдвое

ТРАДИЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ

1. Вспашка отвальным плугом, запахивание до 90% пожнивных остатков
2. Обработка дисковым культиватором для выравнивания поверхности поля
3. Обработка лапчатым культиватором для предпосевной подготовки почвы
4. Боронование для выравнивания почвы
5. Посадка
6. Внесение гербицида
7. Обработка междурядным культиватором
8. Уборка урожая

Поверхность почвы открыта, подвергаясь эрозии от воды и ветра

Благодаря темной поверхности почва прогревается, способствуя росту кукурузы

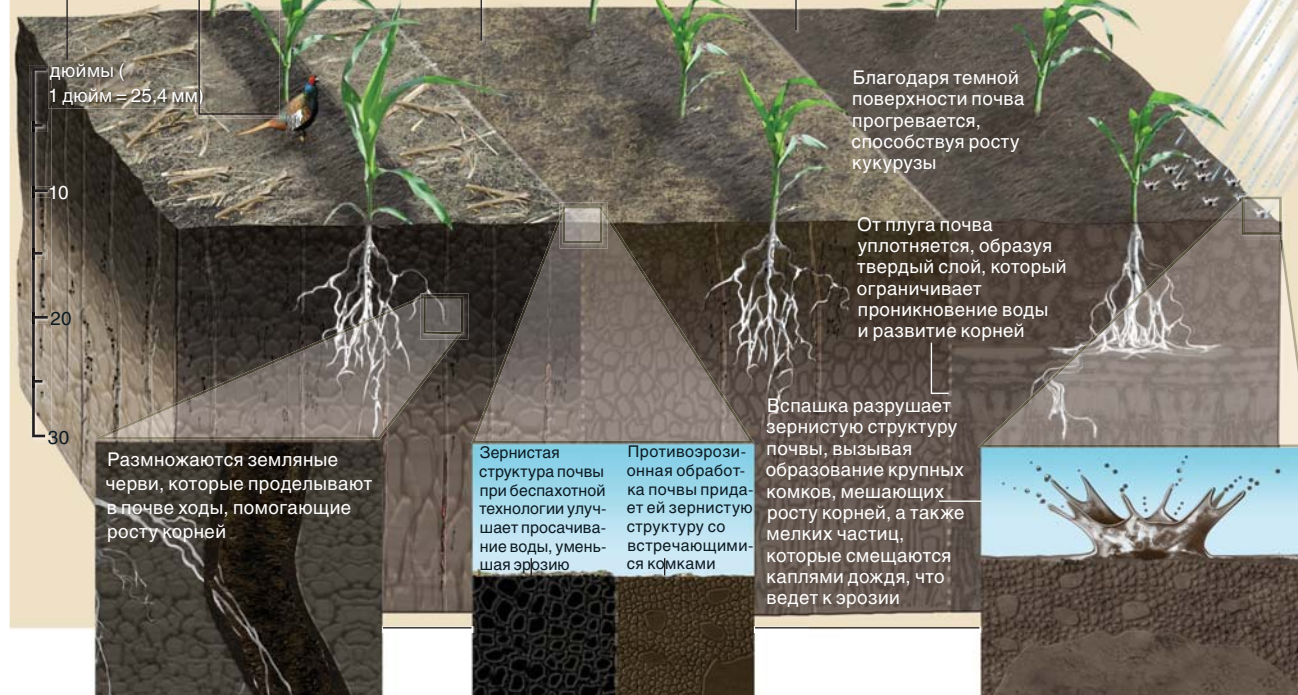
От плуга почва уплотняется, образуя твердый слой, который ограничивает проникновение воды и развитие корней

Вспашка разрушает зернистую структуру почвы, вызывая образование крупных комков, мешающих росту корней, а также мелких частиц, которые смещаются каплями дождя, что ведет к эрозии

Размножаются земляные черви, которые проделывают в почве ходы, помогающие росту корней

Зернистая структура почвы при беспашотной технологии улучшает просачивание воды, уменьшая эрозию

Противоэрозионная обработка почвы придает ей зернистую структуру со встречающимися комками



синтеза сельхозкультуры забирают из атмосферы двуокись углерода, а оставленные на полях пожнивные остатки с корнями превращаются затем в почвенное органическое вещество, которое на 58% состоит из углерода. Общие возможности сельхозугодий в США связывать атмосферный углерод в почве примерно наполовину обеспечиваются за счет противоэрозионной обработки почвы, в которую входит и беспашотное земледелие.

Следует добавить, что технология беспашотной обработки почвы дает фермерам и определенные экономические преимущества. В случае использования такой технологии число проходов сельхозтехники по полю, необходимое для выращивания культур и уборки урожая, сокращается с обычных семи и более до четырех и менее. При этом по сравнению с традиционной вспашкой полей требуется на 50–80% меньше горючего и на 30–50% меньше

рабочей силы, что существенно снижает показатель издержек производства на 1 акр (0,4 га) площади. Несмотря на то что специально приспособленная для беспашотной технологии сеялка может быть весьма дорогостоящей (стоимость отдельных сложных моделей доходит до \$100 тыс.), в этом случае уже не требуется эксплуатировать и обслуживать какие-либо дополнительные машины, благодаря чему сокращение общей величины капитальных

и эксплуатационных затрат на получение сельхозпродукции доходит до 50%. Получив подобную экономию времени и средств, мелкие фермеры станут более конкурентоспособными или смогут обрабатывать большую территорию, подчас удваивая размер своей фермы при том же количестве техники и рабочей силы.

На кону — ферма

Беспашотная технология и другие методы противозерозионной обработки земли могут применяться на самых разных почвах, в различных климатических условиях и географических зонах. Продолжительное использование такой технологии подходит для выращивания большинства сельхозкультур за исключением заливного риса и корнеплодов, таких как картофель. Тем не менее в 2004 г. (последний год, за который имеются статистические данные) земледельцами всех стран беспашотная технология применялась лишь на 326 млн акров (130,4 млн га) — менее 7% площади всех мировых пахотных угодий.

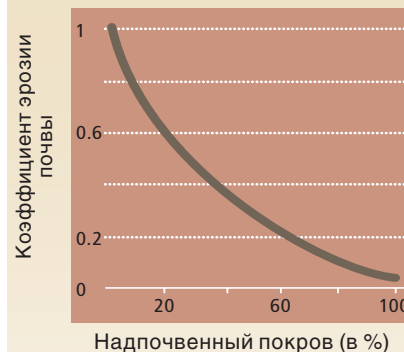
Среди пяти стран с наибольшими территориями применения технологии беспашотной обработки почвы первое место занимают США, за которыми следуют Бразилия, Аргентина, Канада и Австралия. Около 85% земель, обрабатываемых по новой технологии, находятся в Северной и Южной Америке. В 2004 г. противозерозионная обработка почвы производилась в США примерно на 41% всех засеиваемых пахотных угодий, тогда как в 1990 г. — лишь на 26%. Большая часть этого прироста обеспечена за счет усиленного перехода на беспашотную технологию, масштабы применения которой возросли за это время более чем в три раза, охватив 22% обрабатываемых земель в США. Безусловно, это в какой-то мере объясняется тем, что за соблюдение требований противозерозионной обработки почвы американские фермеры поощряются получением государственных субсидий и участием в других программах. В Южной Америке относительно быстрое принятие беспашотного земледелия

стало результатом скоординированных усилий университетских преподавателей по сельскому хозяйству и местных фермерских общин, которые разработали жизнеспособные системы беспашотного возделывания почвы, приспособленные к их собственным нуждам.

В противоположность этому распространение беспашотной технологии в Европе, Африке и большей части Азии идет замедленными темпами. Особые трудности возникают в развивающихся странах Африки и Азии, где фермеры зачастую используют пожнивные остатки в качестве топлива, корма для скота и в других целях. Кроме того, недоступными для земледельцев в этих частях света — в том числе из-за чрезмерно высокой стоимости — оказываются сеялки особой конструкции для посева культур и гербициды для борьбы с сорняками. В свою очередь в Европе у фермеров нет особых стимулов к внедрению беспашотной технологии по причине отсутствия последовательной государственной политики, а также из-за строгих ограничений на использование в сельском хозяйстве пестицидов, включая гербициды.

Оказаться от пахотного земледелия и обратиться к беспашотному непросто. Сама трудность данного перехода, а также распространенное представление, что беспашотная технология означает больший риск неурожая или меньшую чистую прибыль, чем при традиционном земледелии, мешают более широкому распространению нового подхода. Хотя фермеры признают, что успех в сельском хозяйстве не гарантирован, они воздерживаются от перехода к любому новому способу обработки земли, если это предполагает увеличение риска неудачи по сравнению с традиционным методом. Поскольку беспашотная технология означает полный отказ от прежней практики земледелия, совершившие такой переход земледельцы сталкиваются с новыми трудностями. Помимо того, что этот переход вызывает необходимость освоения современных агрономи-

СПАСЕНИЕ ОТ ЭРОЗИИ



По сравнению с голой землей сохранение на 30% поверхности почвы пожнивных остатков уменьшает ее эрозию наполовину. Закрывая такими остатками 50–100% поверхности поля в течение года, как предполагает беспашотная технология, можно обеспечить еще более резкое снижение почвенной эрозии

ческих приемов, он сильно сказывается на состоянии сельхозугодий. В частности, может наблюдаться рост численности различных сельскохозяйственных вредителей, появление не известных ранее видов сорняков и болезней растений. Например, повышенный уровень влажности почвы при использовании беспашотной технологии может стать причиной грибковых заболеваний, с которыми прежде удавалось справляться благодаря вспашке.

Кроме того некоторые изменения могут проявляться через годы или даже десятилетия, поэтому земледельцам приходится приспосабливаться к подчас неожиданным ситуациям, возникающим в связи с состоянием почвы и пожнивных остатков в полях или новым порядком использования удобрений. Во время этого перехода существует реальная возможность снижения урожайности или даже полной потери урожая. В районе Палуса, например, некоторые фермеры, испытывавшие в 1980-е гг. новую беспашотную технологию, позднее вынуждены были вообще сменить род деятельности. Поэтому желательно, чтобы тот, кто готовится совершить подобный переход, ограничился для начала 10–15% площади своих сельхозугодий.

БОГАТСТВО ПОД НОГАМИ

Дэвид Монтгомери. Медленное восстановление почвы заставляет задуматься о необходимости ее сохранения

Огромный недостаток традиционного земледелия состоит в том, что оно способствует эрозии верхнего слоя почвы, в особенности на полях с уклоном. Лишая поверхность почвы покрова, вспашка делает ее подверженной поверхностному стоку, а с каждым проходом плуга эта земля все более смещается вниз. В результате слой почвы со временем истончается. Продолжительность этого процесса зависит не только от того, насколько быстро земля сползает вниз из-за вспашки (а еще сдувается ветром и смывается водой), но также от скорости, с какой разрушаются и превращаются в новую почву лежащие ниже породы.

В начале 1950-х гг. в США, когда Служба охраны земельного фонда (известная сегодня как Совет по защите природных ресурсов) начала устанавливать допустимые нормы почвенной эрозии на пахотных землях, в ее распоряжении не было почти никаких данных о скорости образования почвы. Поэтому был лишь определен так называемый «приемлемый показатель эрозии почвы», исходя из которого фермеры могли бороться с почвенной эрозией без «излишних экономических мер», но только с помощью традиционной сельхозтехники. По этому показателю эрозия почвы происходит со скоростью 1 дюйм (25,4 мм) за 25 лет, что, как показывает недавнее исследование, намного превышает скорость восстановления почвенного покрова.

В последние несколько десятилетий ученые обнаружили, что путем измерения концентрации в земле некоторых изотопов, меняющейся с определенной скоростью, можно точно установить, как быстро идет образование почвы. Применяя этот метод при изучении почв в умеренных регионах прибрежной части Калифорнии и на юго-востоке Австралии, геолог Арджун Хеймса (Arjun M. Heimsath) из Университета штата Аризона и его коллеги выяснили, что скорость образования почвы колеблется от 0,00118 до 0,00315 дюйма в год. Из чего следует, что на формирование слоя земли в 1 дюйм в этих местах уходит от 300 до 850 лет. В моей недавней работе с обобщением данных мировых исследований по формированию почвы, опубликованной в прошлом году в журнале «Труды Национальной академии наук США», приводится средняя скорость от 0,00067 до 0,00142 дюйма в год — то есть от 700 до 1500 лет на формирование дюймового слоя земли.

Толщина слоя почвы на нетронутых склонах холмов в умеренных и тропических широтах составляет обычно 1–3 фута (0,3–0,91 м). При естественной скорости формирования дюймового слоя земли в период от нескольких столетий до более чем тысячи лет и при скорости эрозии почвы в процессе пахотного земледелия в несколько дюймов

за 100 лет уже через какие-то две тысячи лет почва в этих регионах будет пропахана насквозь. Этот простой расчет с удивительной точностью отражает продолжительность существования главных сельскохозяйственных цивилизаций древнего мира. За исключением жителей плодородных речных долин, где зародилось земледелие, срок жизни цивилизаций составлял обычно 800–2000 лет, и, как показывают геоархеологические исследования, существовала явная связь между эрозией почвы и упадком многих древних культур.

Понятно, что если мы хотим сохранить природные ресурсы для наших будущих поколений, нам следует искать альтернативы традиционной практике земледелия. Технология беспашотной обработки почвы уменьшает эрозионное действие поверхностного стока и одновременно увеличивает устойчивость почвенного слоя, показывая исключительную эффективность в борьбе с эрозией почвы. В материалах работы, опубликованной в 1993 г., исследователи Кентуккийского университета отмечали, что приемы беспашотной технологии позволили снизить эрозию почвы на целых 98%. Как следует из более позднего сообщения исследователей Университета Теннесси, в сравнении с традиционным способом возделывания табака технология беспашотной обработки земли для этой культуры уменьшила почвенную эрозию более чем на 90%. Несмотря на то что эффективность беспашотной технологии зависит от целого ряда местных факторов, таких как тип почвы и вид высаживаемой культуры, данная технология вполне может снизить скорость почвенной эрозии, приблизив ее к скорости образования почвы.

По оценкам исследователей из Корнеллского университета, подготовленным в середине 1990-х гг., восполнение ущерба от эрозии почвы будет ежегодно обходиться США в \$44 млрд. Тогда как для выравнивания скорости эрозии почвы на американских сельхозугодьях со скоростью образования там почвы потребуются инвестировать лишь около \$6 млрд в год. Они также подсчитали, что каждый доллар, вложенный в предотвращение эрозии почвы, сэкономит более \$5. Поскольку возвращение утраченной земли обратно на поля потребовало бы непомерных затрат, первойшей и наиболее экономически значимой задачей для всего общества будет сохранение этой почвы.

Дэвид Монтгомери (David R. Montgomery) — профессор геоморфологии Вашингтонского университета и автор книги «Земля: эрозия цивилизаций» (*Dirt: The Erosion of Civilizations*)

Фермеры, еще лишь начинающие осваивать приемы беспашотной технологии, часто посещают успешные хозяйства и создают местные или региональные группы поддержки, на собраниях которых происходит обмен опытом и обсуждение конкретных проблем. Однако советы, которые они получают в районах с недостаточным владением этой новой технологией, могут быть противоречивыми, а неполное владение технологией может иметь неожиданные последствия. Так, если в местной сельской общине сложится представление, что технология беспашотной обработки почвы

рискованнее традиционного земледелия, то банки могут отказать в предоставлении фермерской ссуды. Или же арендующие землю фермеры могут вдруг обнаружить, что владелец земли возражает против беспашотной технологии из опасений, что не будет получать положенной ему арендной платы. Важную роль в преодолении подобного рода препятствий безусловно сможет сыграть повышение качества информационного обмена между фермерами, университетами, корпоративными сельхозобъединениями и правительственными организациями.

Впрочем, даже в руках искусственно фермера технология беспашотной обработки почвы не лишена определенных недостатков. Особенно много проблем возникает при выращивании культур на плохо дренируемых почвах с тонким механическим составом, где из-за этого часто наблюдается снижение урожайности. Например, урожаи кукурузы на территориях, обработанных по беспашотной технологии, нередко на 5–10% отстают от достигнутых результатов в зонах традиционного пахотного земледелия, в особенности в северных регионах. Поскольку пожнивные остатки на полях перекрывают

солнечные лучи и мешают прогреванию земли, здесь температура почвы весной бывает ниже, чем в зонах традиционного земледелия, из-за чего замедляется прорастание семян и задерживается развитие таких теплолюбивых культур, как кукуруза.

В первые 4–6 лет после перехода на беспашотную технологию некоторым культурам требуется дополнительный объем азотных удобрений (до 20% больше, чем при традиционной системе земледелия), поскольку увеличившееся количество органического вещества на поверхности полей иммобилизует питательные элементы, включая азот. В отсутствие привычной вспашки для борьбы с сорняками фермеры активно используют гербициды. Между тем на полях, обрабатываемых по беспашотной технологии, все чаще встречаются сорняки, устойчивые к действию гербицидов. Таким образом, для продолжения практического применения беспашотной технологии крайне важно обеспечить разработку новых гербицидов и новых способов борьбы с сорняками. Помимо связанных с этим расходов от более широкого применения ядохимикатов могут пострадать другие биологические виды, произойти загрязнение воздуха, воды и почвы.

Объединение в единое целое

Технология беспашотной обработки почвы способна дать массу преимуществ, которые будут все более востребованы в мире, сталкивающемся сегодня с множеством серьезнейших проблем, включая рост численности населения, экологическую деградацию, растущие цены на энергоносители и изменение климата. Однако нельзя считать данную технологию лекарством от всех бед — такого в сельском хозяйстве просто не бывает. Она всего лишь часть экологически рационального ведения сельского хозяйства, в котором полезными считаются самые разные методы земледелия — от беспашотной технологии до органического фермерства — и различные их сочетания. По нашему мнению, в конечном итоге во всех фермерских хозяйствах противо-

эрозийная обработка почвы и беспашотная технология, если ее применение возможно, должны быть слиты в единое целое.

В будущем беспашотном земледелии потребуются использовать более разнотипные (биологические, физические и химические) способы борьбы с вредителями и сорняками, что будет снижать угрозу выработки у них устойчивости к пестицидам. Полезной в этом отношении может стать практика успешного применения приемов органического зем-

Ветровая эрозия на равнинах юга США — проблема «Района пыльных бурь» — показала всю опасность пахотного земледелия

леделия. Один из них, севооборот (чередование различных сельскохозяйственных культур на одном и том же участке в установленной сезонной последовательности), уже используется в беспашотной технологии, помогая в этой борьбе, поскольку нарушает циклы развития вредителей, сорняков и возбудителей болезней растений. Причина формирования подобных циклов — многолетнее выращивание на одном поле одного и того же вида растений.

Способность выращивать целый набор разных экономически выгодных культур могла бы содействовать продвижению беспашотного земледелия, сделав его более привлекательным для фермеров. Однако нынешний упор в «кукурузном поясе» Среднего Запада на выращивание именно кукурузы для ее последующей переработки в этанол (этиловый спирт) означает возделывание монокультуры — когда на большой площади год за годом высаживается одна-единственная культура, что может затруднить развитие беспашотного земледелия в регионе. Эксперты спорят сегодня о целесообразности «производства топлива» на сельскохозяйственных землях, однако, если уж мы решаем продолжать выращивать какие-то культуры для получения из них биотоплива, то нам следует предусмотреть использова-

ние беспашотной технологии и севооборота, чтобы такое производство было экологически рациональным. Выведение на окраинных землях альтернативных сортов различных культур, пригодных для выработки биоэнергии, включая такие многолетние растения, как прутьевидное просо, могло бы дополнять и поддерживать развитие здесь беспашотного земледелия. Сейчас, кстати, в США ведутся работы по выведению различных сортов других многолетних злаковых культур.

Сегодня, спустя три десятилетия после первого испытания технологии беспашотной обработки почвы на своей ферме в районе Палуса, Джон Эшлиман использует ее уже на всей территории собственных сельскохозяйственных земель. Его переход на новую технологию происходил постепенно и осторожно, с тем расчетом, чтобы свести к минимуму риск снижения урожайности или чистого дохода от его деятельности. В настоящее время он — один из тех многочисленных фермеров, которые пожинают плоды беспашотной технологии и помогают сельскому хозяйству становиться экологически рациональным. ■

Перевод: А.Н. Божко

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Corn-Soybean Sequence and Tillage Effects on Soil Carbon Dynamics and Storage. David R. Huggins, Raymond R. Allmaras, Charles E. Clapp, John A. Lamb and Gyles W. Randall in Soil Science Society of America Journal, Vol.71, No.1, pages 145–154; January/February 2007.

■ Constraints to Adopting No-Till Farming in Developing Countries. Rattan Lal in Soil & Tillage Research, Vol.94, No.1, pages 1–3; May 2007.

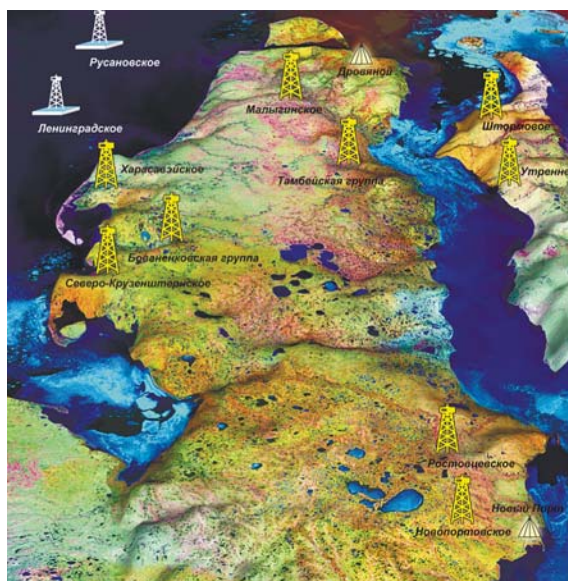
Юрий Баранов, Екатерина Денисевич, Юрий Кантемиров и Сергей Кулапов

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯМАЛА

Для обеспечения безопасности разработки крупнейших газовых месторождений полуострова Ямал необходимы тщательное изучение и регулярный мониторинг потенциально опасных природных и техногенных динамических процессов

Освоение Ямала

Развертывание работ на Ямале (илл. 1) имеет принципиальное значение для обеспечения роста добычи газа в России. Здесь открыто 11 газовых и 15 нефтегазоконденсатных месторождений. Крупнейшими из них являются Бованенковское, Харасавэйское и Новопортовское месторождения. Первоочередной объект освоения — сеноман-аптские залежи Бованенковского месторождения. Ввод в эксплуатацию первых пусковых комплексов сеноман-аптских залежей Бованенковского месторождения ежегодной производительностью не менее 15 млрд м³ газа намечен на 2011 г.



1. Полуостров Ямал — ключевой объект Единой системы газоснабжения

ООО «ВНИИГАЗ», www.vniigaz.ru

- Головной научный центр ОАО «Газпром», обеспечивает научно-исследовательское и технологическое сопровождение стратегических направлений корпорации. Освоение месторождений, транспорт, хранение газа — приоритетные направления деятельности «ВНИИГАЗ».
- «ВНИИГАЗ» занимает лидирующее положение в отрасли, что достигается, по мнению генерального директора Р.О. Самсонова, прежде всего научными кадрами высочайшего уровня. В институте отработана система подготовки кадров высшей квалификации. Научную и производственную деятельность во «ВНИИГАЗ», в филиале «ВНИИГАЗ» — «Севернипигаз» и на Опытно-экспериментальной базе осуществляют более 2 тыс. специалистов.
- ООО «ВНИИГАЗ» созданы очная и заочная аспирантура; два диссертационных совета; центр подготовки специалистов высшей

квалификации; региональное подготовительное отделение РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина; базовая кафедра «Газовые технологии и ПХГ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.

- Ученые «ВНИИГАЗ» отвечают за научное сопровождение Астраханского, Оренбургского, Ямбургского, Новоуренгойского месторождений, всех проектов «Сахалин», Обско-Тазовской губы (месторождения Северо-Каменомыское и Каменомыское море).

■ Что касается Ямала, то необходимо отметить: все работы по Ямалу «ВНИИГАЗ» проводит вместе с проектными организациями «Газпрома»: компанией «ВНИПИгаздобыча», научно-техническими центрами компаний «Газпром транспортировка Ухта», «Надымгазпром» и др. При этом приоритет отдается отечественным разработкам и оборудованию.

Для поставки добытого газа в Единую систему газоснабжения России необходимо построить газотранспортную систему общей протяженностью 2451 км, включая новый газотранспортный коридор «Бованенково — Ухта» протяженностью около 1100 км. Также ведется строительство железной дороги «Обская-Бованенково», которая позволит уже в конце 2010 г. в полном объеме осуществлять доставку материально-технических ресурсов для строительства объектов Бованенковского месторождения железнодорожным транспортом.

Различные опасные природные процессы, происходящие на Ямале, вместе с техногенными процессами, которые могут возникнуть после начала разработки месторождений, могут осложнить функционирование построенных объектов добычи и транспорта газа, а также наземной инфраструктуры. В связи с этим предусматривается комплекс мер по обеспечению безопасности разработки и эксплуатации этих месторождений в условиях воздействия на них потенциально опасных природных и техногенных процессов, а также мер по снижению техногенной нагрузки на осваиваемую территорию. При этом одним из основных методов наблюдений за этими процессами являются периодические съемки из космоса (космический мониторинг).

Просадки земной поверхности, связанные с деформированием массивов горных пород при освоении залежей углеводородов и эксплуатации подземных хранилищ газа, приводят к возникновению опасных уклонов фундаментов инженерных сооружений, а в целом — к опусканию территории и возникновению вероятности затопления промышленных объектов (особенно в условиях Ямала).

Разрывы и зоны их геодинамического влияния инициируют аварийные ситуации на буровых скважинах. Кроме того опасность для участков застройки территорий горных отводов представляют геокриологические процессы в силу высокой скорости и интенсивности протекания сопровождающих



их опасных явлений (рост ледяных бугров, пучение грунтов и т.д.). Образование оврагов и другие экзогенные процессы также оказывают разрушительное воздействие на инженерные сооружения.

Ретроспективный анализ космических данных позволяет сделать выводы о высокой активности геодинамических, геокриологических и других природных процессов за период времени, охватывающий несколько десятилетий. С учетом полученных данных корректируется проектное местоположение трубопроводов, буровых скважин и промысловых сооружений, оценивается возможное техногенное воздействие разработки месторождений на окружающую среду, выносятся соответствующие заключения и рекомендации.

Геокриологические процессы

Состав и строение сезонно- и многолетнемерзлых пород, геологические особенности их залегания и другие характеристики не имеют прямого отображения на материалах космических съемок, но во многом определяют характеристики ландшафтов, формируя тем самым яркие и текстурные особенности аэрокосмических изображений.

Геокриологическая интерпретация результатов дешифрирова-

**Область развития
линейного термокарста**

2. Линейный термокарст

ния космических съемок позволяет выявить и картографически зафиксировать опасные геокриологические процессы и явления, требующие учета при проектировании и эксплуатации месторождений углеводородов, располагающихся в пределах развития многолетнемерзлых пород. Наибольшую опасность для объектов обустройства месторождений представляют процессы и явления, указанные ниже.

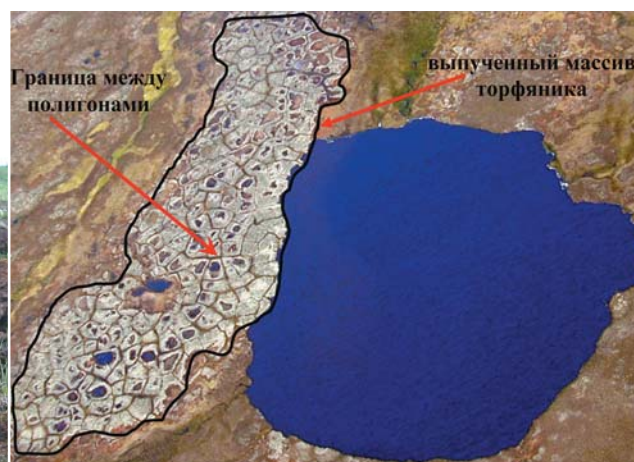
Термокарст. Многолетний термокарст приводит к образованию термокарстовых озер, формированию бугристо-западинного рельефа, котловин.

Существуют три стадии термокарстового процесса. Это начальная, зрелая и стадия высохших озер (хасырееобразования). По оценкам многих исследователей, полный термокарстовый цикл составляет порядка 150–300 лет.

С точки зрения динамики термокарстовые процессы подразделяются на активные, устойчивые и деградирующие. Наиболее опасны для строительства инженерных сооружений территории с ак-

ОБ АВТОРАХ

Юрий Борисович Баранов — доктор технических наук, профессор, начальник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности ООО «ВНИИГАЗ». **Екатерина Владимировна Денисевич** — научный сотрудник той же лаборатории. **Юрий Игоревич Кантемиров** — младший научный сотрудник. **Сергей Михайлович Кулапов** — младший научный сотрудник.



3. Морозное пучение грунтов: космический снимок (вверху) и обычный фотоснимок (внизу)

тивно развивающимся термокарстом. Участки с деградирующим термокарстом также не рекомендуются для строительства. Наиболее предпочтительны площади с устойчивой динамикой термокарстового процесса. Техногенная активизация термокарстового процесса (в связи со строительством инженерных сооружений) встречается повсеместно. Проезд автотехники по грунту, а не по обустроенным дорогам, приводит к нарушению поверхностного слоя — в таких местах по космическим изображениям четко видно открытое водное зеркало, что может спровоцировать дальнейшее растепление и образование техногенных термокарстовых озер. Линейные проявления термокарста на космических изображениях показаны на илл. 2.

Морозное пучение. Морозное пучение дисперсных пород обусловлено увеличением их объема при промерзании. Площадь выпученных массивов торфяников может достигать первых квадратных километров (илл. 3). При размещении объектов обустройства месторождений выпучивающихся торфяных массивов следует избегать.

Наледеобразование. Строительство линейных инженерных сооружений в районе развития наледей может приводить к подпруживанию

поверхностного стока и представлять опасность для строящихся объектов.

Термоэрозия и термоабразия.

Термоэрозия приводит к образованию промоин и оврагов, представляющих опасность для объектов обустройства месторождения. Термоабразия — также опасный процесс, приводящий к разрушению поверхности земли и построенных на ней инженерных объектов (илл. 4). На акваториях этот процесс сопровождается выносом и перераспределением терригенного материала в более глубоководные области с образованием мутьевых потоков.

Криогенные сплывы. Среди криогенных сплывов различают солифлюкцию и криогенные оползни скольжения.

Солифлюкция вызывает в грунте пластические деформации. Мощность оползающих по ним блоков дернины обычно равна мощности деятельного слоя.

Криогенные оползни скольжения — сплывы грунтов сезонноталого слоя на склонах по поверхности сильнольдистых глинистых пород.

Геодинамические процессы

На территории нефтегазовых месторождений разломы земной коры обычно перекрыты почвенными комплексами и не устанавливаются ме-

тодами геологической съемки. Зато они проявлены на космических изображениях в виде линейных элементов изображения — линеаментов (илл. 5).

Разрывы. Разрыв (разрывное нарушение) — тектоническое нарушение, сопровождаемое перемещением разорванных частей геологических тел друг относительно друга. Разрыв представляет собой поверхность сложной формы, на которой наблюдаются зеркала скольжения с бороздками, штриховкой и ступеньками, позволяющими определять направление относительного смещения крыльев.

Локальные сгущения конформных, ортогональных и диагональных (по отношению к линии разрыва) трещин различного генезиса принято называть зоной геодинамического влияния разрыва. Именно здесь наиболее опасно строительство зданий и сооружений.

Все вышеперечисленные геодинамические явления оказывают влияние на разработку и эксплуатацию месторождений. В частности, по зонам геодинамического влияния активных тектонических нарушений нередко происходит опережающее обводнение продуктивных пластов подошвенными водами, а также регистрируются вертикальные межпластовые флюидоперетоки. Воронки падения пластового давления могут формироваться вдоль геодинамиче-

ски «раскрытых» разрывов. В зонах геодинамического влияния разрывов повышен процент аварийных скважин. Кроме того вдоль тектонических нарушений могут происходить современные природные смещения земной поверхности (как вертикальные, так и горизонтальные).

Вертикальные смещения земной поверхности.

Комплекс промышленных и жилых зданий и сооружений, кусты эксплуатационных скважин, а также другие инженерные сооружения, входящие в состав инфраструктуры месторождений нефти и газа, расположенных в условиях распространения многолетней мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов, подвергаются воздействию смещений земной поверхности, вызванных природными геокриологическими процессами. Они могут вызывать значительные по амплитуде локальные смещения земной поверхности за небольшой временной период.

В случае недостаточной теплоизоляции колонн эксплуатационных скважин и промысловой нефтегазотранспортной инфраструктуры могут возникнуть дополнительные проседания земной поверхности, вызванные протаиванием многолетнемерзлых пород.

Разработка месторождений, сопровождающаяся извлечением из продуктивных пластов углеводородного сырья и соответствующим понижением пластового давления (нередко на порядок), также может вызвать техногенные просадки земной поверхности, иногда сопровождаемые поднятием периферийных участков.

Мониторинг смещений земной поверхности представляется особенно актуальным для Ямала, поскольку крупнейшие месторождения этого полуострова находятся в зоне крайне низких высотных отметок над уровнем моря. В связи с этим смещения земной поверхности, вызванные вышеперечисленными причинами, могут привести к подтоплению значительных территорий. Естественно, принимаются разноплановые превентивные меры по предупреждению возможных оседаний, и наиболее эффективная из них — космический мониторинг. Он осуществляется комплексом методов, включающих в себя космическую радиолокационную интерферометрическую съемку, GPS-наблюдения и традиционные геодезические измерения.

Заключение

Космический мониторинг природных опасностей имеет своей целью выявление зон и ареалов действия опасных природных процессов, оценку их динамики и интенсивности протекания. Результат мониторинга — информационное обеспечение геологических работ, предоставляемое в виде картографической документации в части геологических нарушений и особенностей, требующих учета при разработке месторождения.

Отдельные результаты мониторинга, такие как устанавливаемые границы площадных смещений земной поверхности, учитываются при разработке месторождений углеводородов для уточненного окартирования



4. Термоабразионные уступы

зон активных дренируемых запасов, текущих контуров ГВК и для оценки темпов внедрения в продуктивные залежи пластовых вод.

Полученные при космическом мониторинге данные используются при маркшейдерско-геодезическом, геотехническом, производственном экологическом, инженерно-геокриологическом и в других видах мониторинга. По результатам космического мониторинга принимаются решения по предотвращению аварийных ситуаций, снижению негативных последствий эксплуатационных работ для окружающей природной среды, а также осуществляется контроль над соблюдением условий лицензий на пользование недрами.

Выполнение регулярного космического мониторинга при условии использования постоянно действующей сети GPS-станций в комплексе с традиционными наземными методами наблюдений обеспечит адекватное и достаточное предупреждение опасного воздействия природных и техногенных процессов на инженерные сооружения объектов добычи, транспорта и хранения углеводородов и позволит выработать научно обоснованные меры по защите производственных объектов. ■



5. Разрывное нарушение проявлено на космическом изображении в виде линейamenta (маркирован красными стрелками)



ГРУЗИЯ: МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА И РУДНАЯ БАЗА

Давид Купарадзе и Дмитрий Патаридзе

Геологические исследования последнего времени позволили составить определенное представление о металлургии железа и рудной базе древней Грузии. По мнению ведущего научного сотрудника Национального института развития РАН профессора В.Л. Махнача, следует признать, что предки грузин были искусными мастерами металла — сначала меди, потом бронзы, а затем и железа

Древняя горная выработка (IV–III вв. до н.э.) — Давид Гареджи (Болнисский район)

В Библии древнегрузинское племя тубалов определяется как изобретатель металлургии и кузнечного ремесла. Металлические изделия древних грузин распространялись по всей передней Азии — Месопотамии, Сирии, государствам Малой Азии. Возможно, что создатели первых настоящих булатных клинков — ассирийцы — своему искусству во многом научились от предков грузин.

Металлургия железа Грузии античного времени возникла не на пустом месте, а стала продолжением металлопроизводства эпохи средней бронзы. Преемственность традиций проявилась в том, что несмотря на нов-

шества, связанные с технологией обработки железа, древние металлурги упорно старались повторить в железе формы бронзовых изделий, что подтверждается разнообразным археологическим материалом.

Древние центры производства металлов размещались в основном в Юго-Западной, Юго-Восточной и Северной провинциях Грузии. Первая из них занимала бассейн реки Чорох и территорию нынешней Гурии. Юго-Восточная провинция охватывала южные области древней Иберии, где с металлургической точки зрения особый интерес вызвала территория нынешнего Болнисского района. Северная — горные области Большого Кавказа в границах Имеретии, Рачи, Сванетии и Абхазии.

Металлургическая отрасль производства имела в Грузии не случайный и не временный характер, а стала органичной составляющей экономики. Она постоянно проявляла тенденцию к воспроизводству, проходя при этом через ряд исторически обусловленных фаз упадка, и возрождаясь вновь.

То обстоятельство, что ученые разных периодов неизменно подчеркивают факт существования в Грузии высокой техники металлургического производства и воздают должное искусству изготовления меди и железа древнегрузинскими племенами, свидетельствует о том, что металлургическая отрасль производства Грузии всегда играла значительную роль в экономике страны.

Металлургия античного периода отличалась комплексным характером и включала в себя как выплавку меди и железа, так и золота, и серебра. О разнообразии древнегрузинской металлургии свидетельствуют греко-римские ученые, которых удивляло мастерство древнегрузинских племен моссикиков, халибов и тубалов в работе с металлами.

Моссикики традиционно занимались земледелием и рыболовством, однако в их вооружении Ксенофонт отмечал железные секиры, а на крайнем западе населяемой ими территории греки встретили людей, обрабатывавших металлы. Моссикики

славились техникой изготовления меди, бронзы и латуни и, по всей видимости, имели довольно тесные торговые отношения с греческими городами, притом не только с ближайшим к ним Керасунтом, но и более отдаленным Трапезунтом. Их бронза, как считал Аристотель, имела особый блеск и выделялась своей белизной. Он отмечал, что моссикики при изготовлении бронзовых изделий смешивали медь не со свинцом, а с местной землей.

Производственные традиции

Специфическая черта древнегрузинской металлургии — широкое разделение и специализация общественного труда. Еще Аполлоний Родосский (III в. до Р.Х.) отмечал, что халибы «не занимаются ни возделыванием земли, ни разведением сладких плодов, не пасут стада на росистых пастбищах», но зато «раскапывают железоносную твердую землю и выменивают железо на жизненные припасы. Единственное занятие халибов — производство железа, чем они заняты изо дня в день, от зари до глубокой ночи». Этот факт подтверждается и Ксенофонт, который отмечал, что единственным источником жизни большей части населения, живущего в горных местностях, стала переработка железной руды.

Узкая специализация отдельных племен стала результатом упрочившегося разделения общественного труда. Такая специализация в процессе исторического развития вырабатывала у отдельных племен производственные традиции, сноровку, технические навыки и усовершенствованные приемы производства металлов, что способствовало вывозу изделий за пределы Грузии.

Широкий сбыт халибского железа на рынках Ближнего Востока свидетельствовал о его высоком качестве. Аристотель указывал: «Халибское железо было наилучшим именно потому, что халибы умели каким-то особым способом изготовлять его». Белое халибское железо — нержавеющая сталь — высоко ценилось в античном мире, и металлургия стала основой интенсивной торговли с высокоразвитыми государствами того времени. Столь важный исторический факт со всей очевидностью указывает на сравнительно крупные масштабы производства железа в Грузии.

В связи с этим возникает вопрос: на какой рудной базе основывалась древняя металлургия Грузии? Общеизвестно, что наличие таковой предопределяет как саму возможность возникновения металлургического производства, так и объемы валовой товарной продукции.

Сырьевая база Юга

Единичные находки металлических изделий в Южной Грузии известны с VI–IV тыс. до н.э. (Храмис Диди-Гора и Арухло). Древнейшим металлургическим очагом на территории Грузии был богатый раннеземледельческими поселениями нынешний Болнисский район, что подтверждается участками отработок медных руд вблизи Цителсопели, а также сетью старых горных выработок.

В Южной Грузии известно единственное сравнительно крупное железорудное месторождение — Чатахское, эксплуатировавшееся с незапамятных времен. Там на площади в 70 кв. км было обнаружено около 30 выходов руд со следами древнейших выработок и выплавки желе-

ХАЛИБЫ — народ, живший в богатой железной рудой местности на севере Малой Азии (Юго-Восточное побережье Черного моря), — был широко известен высокоразвитой техникой изготовления железа. По данным Страбона (66 г. до Р.Х.), халибы занимались разработкой серебряных рудников, а затем полностью переключились на производство железа.

ТУБАЛЫ были искусными металлургами. Они жили не только на Южном Кавказе, но и в Малой Азии, вплоть до ее южной части. Однако оттуда они были вытеснены во времена великого арийского переселения (первая половина II тыс. до Р.Х.)



Бронзовые топоры Колхиды (вторая половина II тыс. до Р.Х.).



Бронзовая фигура (XIII в. до Р.Х.)

за. Кроме того металлоносная зона Малого Кавказа покрыта сетью железорудных точек — гематитовые (Маднисцкаро и др.), марганцево-гематитовые (Тетрицкаро, Маднис-Сери, Сосеби и др.).

По имеющимся археологическим данным исследователей, в местечке Саркинет (в переводе с грузинского — «железное место») около г. Мцхета выплавлялось высококачественное железо, здесь же изготавливались и изделия из него, в то же время район стерилен на руды железа. По мнению авторов, железная руда в Саркинети завозилась либо с территории нынешней Имеретии (район селения Шорапани), где под красными лейасскими мраморовидными известняками (так называемый шрошинский мрамор, которым облицованы центральные станции

Московского метрополитена) имеется толща, богатая железняком, либо с Дзамского рудопоявления (нынешний Карельский район).

В западной части Малого Кавказа древние металлурги широко использовали и такое оригинальное сырье, как магнитные пески бассейна реки Чорох и Черноморского побережья.

Продукты разрушения базальтовых пород — магнитные пески с содержанием около 11% Fe_3O_4 — выносились многочисленными реками и отлагались на берегу Черного моря. При наличии такой рудной базы халибы, вероятно, применяли способ прямого восстановления железа, что подтверждено и экспериментами исследователей.

Сырьевая база Севера

Для древней металлургии железа особенно ценной безусловно была сравнительно частая зараженность территории области гематитовым и марганцево-гематитовым орудене-

нием. Марганцевые месторождения более мелкого масштаба зарегистрированы в западной части зоны, например в селении Шемокмеди (Озургетский район), но помимо того что количество рудных точек здесь весьма ограничено, сама руда в большинстве случаев представляет собой землистый пиролюзит (до 1,2 мм в поперечнике).

Начиная с античных времен, ведущую роль в производстве металлов на севере Грузии играла Сванетия. Здесь, по историческим данным, была сконцентрирована добыча россыпного золота. Это подтверждают Плиний, Аппиан и многие другие. Древнесванетская металлургия золота интересна тем, что с ней, по-видимому, связано возникновение в Сванетии производства сначала меди, а затем и железа.

По степени своей товарности сванетское железо значительно уступало «южному». Это и не удивительно. Во-первых, рынок сбыта товарного железа Чуберского происхождения был намного уже, чем ближневосточный. Во-вторых, рудная база была сравнительно скудной, и, как следствие, объем производства железа в Сванетии был меньше, чем на юге страны. Наконец, при наличии недостаточной рудной базы каждая производственная единица использовалась для выпуска разных металлов. В соответствии с этим в течение одного производственного цикла выплавлялись и железо, и медь, и золото, и серебро, что подтверждается раскопками многочисленных горнов.

По мнению известного советского археолога, сотрудника Института истории материальной куль-

В своих комментариях к «Пророчествам о Тире» (Пророк Иезекииль — VI в. до Р.Х.), академик И.А. Джавахишвили пишет: «Грузинские племена изготавливали металлические изделия не только для своего потребления, но вывозили их в такие далекие места, каковым был город Тир»

туры АН СССР Б.Е. Деген-Ковалевского (1894–1941), самый спорный вопрос — сырьевая база Чуберского производства. Согласно данным химических анализов, изделия из чуберского железа отличались исключительной чистотой (содержание Fe в них достигало 99,75%), что говорит о применении металлургами высококачественной руды.

Где же добывали чуберские металлурги высококачественный магнитный железняк? В Сванетии нет более или менее крупных месторождений магнитного железняка, однако их можно найти в восточной части Горной Абхазии.

В районе селения Санчара имеется несколько выходов магнитного железняка, подчиненных кристаллическим мраморовидным известнякам. Месторождение штокообразное и содержит чистую и богатую руду с четко выраженными магнитными свойствами.

По геологическому строению и литологическому составу район Чубери аналогичен району Санчарского месторождения, на этих территориях широко представлены кристаллические сланцы и известняки. На Шхибаре (Чубери) найдено несколько кусков руды, сходных по химическому составу с санчарским магнетитом. Это сходство позволяет предположить наличие в пределах западной части Верхней Сванетии, на стыке Сванетии, Абхазии и Горной Мингрелии месторождений магнетита, которые нами, к сожалению, не обнаружены. Вполне возможно, что в древности не только знали об этих месторождениях, но и эксплуатировали их.

Однако можно допустить и то, что в пределах Чуберской общины скорее всего нет и никогда не было железорудного месторождения. В таком случае вся чуберская металлургия могла основываться только на привозной руде, которая, возможно, доставлялась с наиболее близко расположенных месторождений магнетита горной Абхазии.

Независимо от того, базировалась ли чуберская металлургия на местной, либо привозной руде, она пере-

рабатывала высококачественный магнетит, определявший высокое качество выплавляемого железа. Однако объем производства железа не мог быть большим. Во-первых, рудная база, где бы она ни располагалась, была представлена мелкими месторождениями, главным образом в виде поверхностных выходов, и крупными, которые в связи с низким уровнем техники горного дела в то время не могли быть объектами массовой эксплуатации. Во-вторых, в те времена среднегодовое потребление железа объективно должно было быть низким. Железо использовалось лишь для изготовления предметов личного вооружения и хозяйственного инвентаря.

Для организации железноплавильного предприятия достаточно было наличия мелких, но близких друг к другу месторождений. Эксплуатационные запасы их быстро исчерпывались, после чего переходили на разработку следующей группы. Экстенсивная система организации горного дела приводила к тому, что добыча и первичная переработка руд были разбросаны на относительно большой площади, а выплавка железа концентрировалась в одном месте, куда и доставлялась примитивно обогащенная руда. По мере истощения запасов эксплуатируемых месторождений металлургическое предприятие отрывалось от своей сырьевой базы и, следовательно, с течением времени терялась «видимая» связь между предприятием и месторождением, на базе которого оно возникало. По видимому, такое же явление наблюдается в Чубери.

После прекращения железного производства в Чубери (по одним данным, в VII–IX вв., а по другим — в X–XI вв.), в северных областях страны возникло три центра железнотопки.

ОБ АВТОРАХ

Давид Миравович Купарадзе — заместитель директора Кавказского института минерального сырья им. А. Твалчеридзе, доктор геолого-минералогических наук. **Дмитрий Вахтангович Патаридзе** — заместитель директора института, доктор геолого-минералогических наук.



Мужская фигура (III в. до н.э.) — железо

тельного производства: Абхазский, Верхне-Имеретинский и Рачинский.

Металлургия абхазского центра начала играть заметную роль примерно с первой половины XIII в., когда в Закавказье вторгся иностранный (генуэзский) капитал. Установлено, что с начала столетия в пределах нынешней Абхазии генуэзцы приступили к разработке полиметаллических (цинко-серебряных и свинцово-серебряных) месторождений. В Горной Абхазии в большом количестве обнаружены горные выработки того времени на горе Ахидза-Акара (тонкие жилы и прожилки свинцового блеска) и на горе Ахыздырху (месторождение свинца).

АРИСТОТЕЛЬ ПИСАЛ: «Рассказывают о совершенно особом происхождении железа халибского: оно образуется из песка, приносимого реками, песок этот промывают и плавят на огне или промывают несколько раз и потом плавят, прибавляя так называемый огнеупорный камень, коего много в их стране»

С периода царствования Димитрия I (1125–1156) в течение 105 лет в Грузии, как и во всей Передней Азии, прекратилась чеканка серебряной монеты, что было обусловлено истощением эксплуатировавшихся ранее серебряных рудников. Серебро, которое стали добывать генуэзцы, по-видимому, послужило металлической базой денежной реформы, проведенной в 1230 г. царицей Русудан (1223–1245), в результате чего Грузия вновь приступила к чеканке полноценной серебряной монеты.

В этот период наряду с полиметаллами разрабатывались и железорудные месторождения. Об этом свидетельствуют остатки производившейся когда-то плавки железных руд из слюдястых песчаников и песчани-

стых сланцевых глин с налетами железной ржавчины на реке Кодори. Одновременно с добычей серебра и цинка на Дзышпринском месторождении выплавлялась и железная руда, которая занимала верхние части хребта Дзышра и разрабатывалась открытой выемкой.

В Верхней Имеретии плавка железа была организована в окрестностях селений Ткибули, Сацери, Очжола и Сормони. Там же и в настоящее время известны небольшие месторождения бурого железняка и железной охры.

«В горных потоках этой страны находится золото, которое варвары добывают посредством продырявленных корыт и мохнатых кож, откуда, должно быть, и произошло предание о золотом руне»

Страбон

В сравнительно более крупном масштабе было организовано железнорудное производство в Раче, близ селения Цедиси. В то время цедисское железо использовалось не только в Раче, но и вывозилось как в другие районы Грузии, так и в районы Северного Кавказа. Из этого железа выделывали в основном предметы полевого и домашнего хозяйства.

Производство железа во всех перечисленных местах завершилось в начале XIX в. Причинами этого были отсутствие необходимого капитала, низкий уровень производственной техники и наличие весьма бедных руд. Между тем рост потребления железа диктовал необходимость организации крупномасштабного производства с усовершенствованной технологией, что в свою очередь требовало наличия более мощной и надежной железорудной базы.

С XVIII в. основное внимание было перенесено на Чатахское (Южная Грузия, Болнисский район) месторождение железа. Согласно данным грузинского географа и историка царевича Вахушти Багратиони, выплавка железа производилась там уже в 1745 г. А полнокровное произ-

водство, основанное Эрнстом Либбом, а после его кончины (1862 г.) переданное Витте и инженеру Бернулли, начало функционировать с середины XIX в. Однако завод проработал лишь до 1875 г.

Главной причиной того, что производство железа на базе Чатахского месторождения гематитовых руд не было устойчивым, стала плохая организация работ по выявлению и изучению рудных богатств. Характерно, что к этому времени в районе Чатахи было известно только два участка — Саркиети и отчасти

Демур-Су, которые были объектами эксплуатации и ввиду их значительной выработанности не могли служить рудной базой для крупного металлургического предприятия. Между тем в этом районе есть ряд других мест, которые по степени оруденения не только не уступают, но и превосходят указанные рудные участки.

В настоящее время кроме вопросов древней металлургии железа Грузии параллельными исследованиями в области археометаллургии меди и золота Грузии занимаются две группы ученых: группа профессора Государственного музея Грузии Ирины Гамбашидзе совместно с немецкими исследователями — профессором Андреасом Хауптманом (Andreas Hauptmann) и доктором Михаэлем Пранге (Michael Prange) из Бохумского Бергбай-Музея, и исследователь из Сорбоннского университета (Франция) Антуан Курсье (Antoine Courcier) совместно с авторами данной статьи. ■

Статья посвящается памяти Дмитрия Ивановича Купарадзе (1906–1981), чьи неопубликованные материалы использованы в данной работе

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Махнач В.Л. Славные времена, страшные времена. http://www.zlev.ru/25_24.htm
- Археология Грузии. Тбилиси, 1959.
- Антипенко А.Л. Путь предков. Традиционные мотивы в «Аргонавтике» Аполлония Родосского. М.: Ладомир, 2005.
- Джавахишвили И.А. История грузинского народа. Тбилиси: ТГУ, 1951.
- Косидовский З. Библийские сказания. М.: Политиздат, 1975.
- Гогелия Д.Д., Челидзе Л.М. Результаты работ Квемокартлийской археологической экспедиции. ПАИ в 1982 г. Тбилиси, 1985.
- Гзелишвили И.А. К древней истории добычи и обработки меди в Болнисском районе. САНГ, т. XVII, № 1, 1967.
- Деген-Ковалевский Б.Е. К истории железного производства Закавказья. ИГАИМК, вып. 120. М.–Л., 1935.
- Вахушти Багратиони. История Царства Грузинского. Памятники грузинской исторической литературы / Пер. Н.Т. Накашидзе. Тбилиси: Мецниереба, 1976.

IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ OPTICS-EXPO 2008



OPTICS-EXPO

10-13 ноября 2008

Москва
Всероссийский
выставочный
центр

www.optics-expo.ru

ОРГАНИЗАТОРЫ:
Федеральное агентство
по промышленности РФ

Оптическое общество
им. Д. С. Рождественского

ОАО «ГАО «ВВЦ»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:
Министерства промышленности
и энергетики РФ

Федерального космического
агентства РФ

Российской академии наук

Министерства промышленной
политики Украины

Государственного комитета
по науке и технологиям
Республики Беларусь

Крупнейший в Российской Федерации Форум профессионалов в области оптико-электронного приборостроения и высоких оптических технологий.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ:

- Оптико-электронные приборы и оборудование для топливно-энергетического, аэрокосмического, машиностроительного, агропромышленного, строительного, транспортного комплексов и научных исследований
- Оптические материалы и технологии
- Лазерная техника и голография
- Волоконно-оптическая связь, компоненты и технологии
- Оптика в медицине
- Микроскопия
- Оптические товары народного потребления

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

практические семинары, «круглые столы» по тематикам специализированных выставок, презентации предприятий и продукции, конкурсы; совместное заседание Организационного комитета Форума и Президиума Оптического общества им. Д. С. Рождественского по итогам проведения IV международного Форума «OPTICS-EXPO 2008» и V международного оптического Конгресса «Оптика-XXI век».

В форуме планируется участие широкого круга специализированных групп потребителей оптико-электронной продукции.

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА:

Тел.: + 7 (495) 981-82-20; 981-92-51; 544-34-47 (доб.2853) Факс: + 7 (495) 981-82-21
E-mail: ahlebnikov@Vvcentre.ru, www.optics-expo.ru



ОБРАЗЫ И СМЫСЛЫ ЭПОХ

Экологически чистый транспорт — одна из альтернатив росту цен на автомобильное топливо и транспортным пробкам. Большинство жителей и гостей российской столицы пользуются Московским метрополитеном — достижением науки и техники, произведением искусства. Как создавалась московская подземка?

Символ нового пути

Основа прогресса — эффективная коммуникация, включающая развитие транспортной сети. Первые станции метрополитена в Москве сооружались в середине 1930-х гг. Страна старалась всеми возможными способами продемонстрировать научно-технические и культурные успехи своей политики и идеологии. Новый общественный транспорт для миллионов людей — Московский метрополитен — строился и как решение транспортных проблем, и как доказательство преимуществ коммуни-

стического пути развития. Средств не жалели, привлекали лучших специалистов со всей страны, прежде всего экспертов по горному делу. Соревнования проектов были обычной практикой. Достижения науки и искусства были максимально востребованы, речь шла о преобразовании столицы государства нового строя. Труд строителей идеологически «лучшего в мире общества» должен был привести к созданию лучшего в мире метрополитена. Конструктивизм быстро сменился обращением к различным архитектурным стилям. Получался

если не подземный храм, то дворец, чье функциональное назначение — передвижение в городе — обретало символический смысл движения по пути строительства коммунизма.

Станции рассматривались и как убежища с соответствующим запасом прочности. Метро строили и в период Великой Отечественной войны. История зафиксировала даже проведение на станции метро «Маяковская» торжественного собрания под руководством И.В. Сталина. В военные годы были созданы станции «Измайловский парк»,

«Электrozаводская», «Семеновская», «Бауманская», «Автозаводская», «Павелецкая», «Новокузнецкая», позже они получили статус памятников истории и культуры.

Символика советских республик, флаги, строки гимнов, высказывания вождей, статуи, мозаики и барельефы, прославляющие людей труда, дружбу народов, подвиги, повседневную жизнь самой большой страны мира — всему нашлось место в метрополитене. В XX в., в период критики вождей, со стен станций стирались их имена, убирались статуи или изречения, но идеологическая суть ядра Московского метрополитена — синтез достижений искусства и науки — сделала столичное метро одним из чудес света. Новые поколения развивают традиции основателей Московского метрополитена, в 2008 г. количество станций приблизилось к 180, опыт строительства стали перенимать многие города.

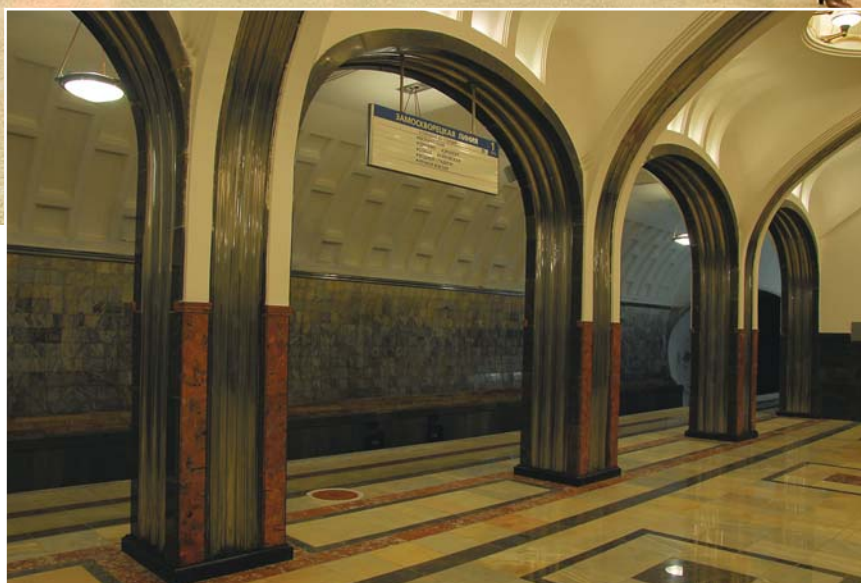
Особенности развития

Жизнь метрополитена — жизнь страны. Уже в 1950-х гг. по инициативе Н.С.Хрущева началась кампания против архитектурных излишеств. С этим периодом связана история станции «Ленинские горы», которая была выведена на поверхность и сооружалась над Москвой-рекой. Архитектурные излишества устранили, но это не помогло избежать ошибок в конструкциях, разрушение которых привело к закрытию станции в 1980-х гг. В конце 1990-х гг. станцию не только переименовали в «Воробьевы горы», но и решили полностью перестроить. С тех

нологической точки зрения это амбициозный проект: длина станции более 1,5 км, междупутье больше 20 м. Главный архитектор ОАО «Метростройтранс» Н.И. Шумаков отмечает, что на этой станции только общий объем облицовки гранитом и мрамором составил более 30 тыс. кв.м, а подвесные потолки и декоративные элементы из алюминия — 10 тыс. кв.м. Тем не менее получился довольно элегантный «мост», вид с которого на реку, Воробьевы горы, здания МГУ, Академии наук и другие достопримечательности вызывает восхищение пассажиров, даже коренных москвичей. Здесь много технических помещений, но они, как

Идеологическая суть Московского метрополитена — синтез достижений искусства и науки — сделала столичную подземку одним из чудес света





и другие объекты метрополитена, скрыты либо привлекательно оформлены. Свободные площади используются даже под художественные выставки, как и на новой станции «Деловой центр», которая связывает строящийся комплекс «Москва-сити» с остальным городом. У вестибюля станции «Воробьевы горы» сооружена триумфальная арка в честь побед метростроителей.

Эти победы принимали различные формы. Например, был период унификации и стандартизации (1970–1980-е гг.), подаривший городу и миру однотипные участки веток, например от «Калужской» до «Ленинского проспекта». Интересно, что на этом участке находится станция

«Академическая», однако символика Академии (наук или художеств), не представлена, несмотря на то что на поверхности много академических заведений. В Московском метрополитене есть и другие «научные» по названиям станции: «Менделеевская», «Ботанический сад», «Тимирязевская», «Университет», и др.

Искусство метростроителей совершенствовалось благодаря науке. Например, в 1970-е гг. впервые в мировой практике на действующей линии была сооружена станция метро глубокого заложения «Горьковская» (ныне «Тверская»), без прекращения движения поездов и создания обходных тоннелей. Самая глубокая в Москве (84 м) станция «Парк Побе-

ды» открылась 6 мая 2003 г. В декабре 2007 г. завершена уникальная операция: проведены Серебряноборские транспортные тоннели — метро и автодорога в одном тоннеле (верхний ярус — автомобильная дорога, нижний — пути метрополитена). Здесь использовался тоннелепроходческий комплекс «Херренкнехт», создающий гидропригруз забоя бетонированным раствором и сжатым воздухом, диаметр — 14,2 м и 6 м.

Сегодня специалисты метрополитена активно применяют информационные технологии для моделирования при проектировании и строительстве, для контроля движения поездов, пассажиропотоков и т.д. Особая техника появилась в связи с террористической угрозой: на многих станциях установлены приборы для экстренной связи.

В режиме экономии

Перестройка и экономический кризис 1990-х гг. в целом негативно отразились на строительстве метрополитена, общественный транспорт до сих пор не успевает за территориальным ростом города и самого населения. Постоянные

автомобильные пробки — насмешка над прогрессом транспорта, новые виды которого, в том числе экологически чистые, в основном остаются в теории.

Актуальная альтернатива для миллионов людей, в том числе в связи с ростом цен на бензин — качественное и количественное развитие сети метрополитена. Главной наукой, определяющей развитие современного московского метрополитена, оказывается экономика. Проведение горнопроходческих работ, создание технических сооружений и постоянная борьба с природными факторами (вода, давление, температура и т.д.) требуют значительных финансовых затрат как на сооружение, так и на поддержание метрополитена в рабочем состоянии. Оформление пассажирских залов и переходов — весьма незначительная часть затрат. Стоимость проезда растёт. Уменьшается глубина заложения станций. Например, в районе Бутово на поверхности построена ветка «легкого» метро, что помимо удобств создаёт и проблемы, в том числе шумовые. Новые материалы и новые стили позволяют несколько экономить на интерьерах. Недоста-



политена, впервые в отечественной практике сдана в эксплуатацию без вестибюля для выхода в город и эскалаторного тоннеля, которые будут создаваться позже. Станции «Тургеневская» — «Сретенский бульвар» — «Чистые пруды» образуют треугольник с подземными переходами между ними. В интерьерах «Сретенского бульвара» должна отразиться жизнь Бульварного кольца. Н.И. Шумаков подчеркивает, что станция «Сретенский бульвар» строилась с использованием чугуновой обделки, довольно дорогая, но надёжная, наряду с другими инженерными находками традиционно создаёт

повышенный запас прочности для станций Московского метрополитена. Другая особенность — особые залы-платформы для пассажиров, которые при строительстве образуют три тоннеля (из них два — для путей).

Использование мрамора и гранита — традиция, проверенная временем. Каменные облицовка и покрытия платформ — антивандальные, выдерживающие вибрацию, смену температур, давлений, долговечные и эстетически привлекательные — и сегодня успешно конкурируют с другими материалами. Обилие рекламы стало роднить столичное метро с метрополитенами Европы и Америки. Образы искусства объединились с понятиями науки и техники.

Туристы специально посещают станции Московского метрополитена, чтобы погрузиться в символы и смыслы эпох. ■

Дмитрий Мисюров

Актуальная альтернатива для миллионов людей, в том числе в связи с ростом цен на бензин — качественное и количественное развитие сети метрополитена

ток новых путей и станций сказывается на перегруженности метрополитена, особенно в часы пик, когда в центре города затруднены даже переходы со станции на станцию.

Показательна судьба Люблинско-Дмитровской линии. Уже 20 лет ведётся строительство центрального участка длиной около 7 км: станции «Сретенский бульвар», «Трубная», «Достоевская», «Марьяна Роща». Глубина — около 60 м — во избежание проникновения в вышележащие плывунные грунты и разрушения исторической застройки на поверхности. Станция метро «Сретенский бульвар», 174-я станция Московского метро-



маневренные плавучие дворцы

Большие круизные суда вмещают 1800 и больше пассажиров плюс 800 человек команды. Удивительно, что эти огромные сооружения — в три футбольных поля длиной и в 14 этажей высотой — могут изящно поворачиваться на месте вокруг себя на все 360° и даже двигаться боком.

Многие годы система привода судов в движение имела одну и ту же стандартную конфигурацию: гребной винт (или несколько винтов) под кормой и руль позади для изменения направления движения. Но все чаще они оснащаются новаторской системой тяги *Azipod*, производимой финской компанией *ABB Oy*. Эта система представляет собой совокупность мощного электродвигателя и гребного винта, размещенных под кормой судна в гондоле, и может поворачиваться на 360°, так чтобы создавать толкающее усилие в любом направлении. Меньшие подруливающие устройства в носовой части судна позволяют толкать его вправо или влево вблизи причалов или препятствий.

Типичным примером большого океанского корабля такого типа служит *Oosterdam*, принадлежащий компании *Holland America Line*. Пять дизелей, газовая турбина и две системы *Azipod* быстро и плавно несут этот гигант по волнам. Дается это недешево: расход дизельного топлива на милю составляет 340 л на экономичном ходу (на трех дизелях) и до 570 л на полном ходу против встречных ветра и волн при работе всех пяти дизелей. «Я каждый день подсчитываю расход топлива и корректирую работу, чтобы добиться максимальной топливной эффективности», — сказал главный механик корабля Виллем Дюлларт (*Willem Dullaert*) автору, когда тот был его пассажиром в начале этого года. Например, для уменьшения сопротивления движению можно перекачивать топливо, балласт и питьевую воду из одних танков в другие.

«Наиболее экономичный режим тяги у каждого судна свой, — говорит директор компании *Holland America* по морским операциям Сес Делстра (*Cees Deelstra*). — Мы даже берем топливо и воду из разных танков, чтобы корректировать дифферент». На спокойной воде на движение судна идет около двух третей генерируемой мощности, а остальная расходуется на удовлетворение пожеланий его обитателей.

Масштабы оборудования в недрах такого судна впечатляют. Внутри двигателя, занимающего объем загородного дома, может буквально гулять человек. Выпарные аппараты размером с небольшой автомобиль могут опреснять до 530 тыс. л морской воды в сутки для нужд пассажиров и команды. Двигатели охлаждаются пресной водой в замкнутом контуре, которая в свою очередь охлаждается также в замкнутом контуре морской водой. Раньше круизные линии предоставляли экскурсоводов желающим осмотреть «начинку» корабля, но, к сожалению, опасность террористических актов вынудила прекратить такие экскурсии. ■

→ 360 ГРАДУСОВ

Двигательная система *Azipod* может поворачиваться на 360°, что позволяет судну совершать обороты вокруг себя на месте



→ ДВИЖЕНИЕ БОКОМ

Подруливающие устройства и системы *Azipod* действуют в одном направлении, толкая судно в бок

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА

Длина	Максимальная скорость	Расход топлива при полной мощности
285 м	24 узла (44,5 км/ч)	570 л на милю (354 л/км)
Ширина	Максимальная мощность	Вместимость топливных танков
32 м	88 900 л. с	3 267 м³
Диаметр винтов	Производство пресной воды	Вместимость балластных танков
5,5 м	1 264 м³/сут	6 550 м³

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ...

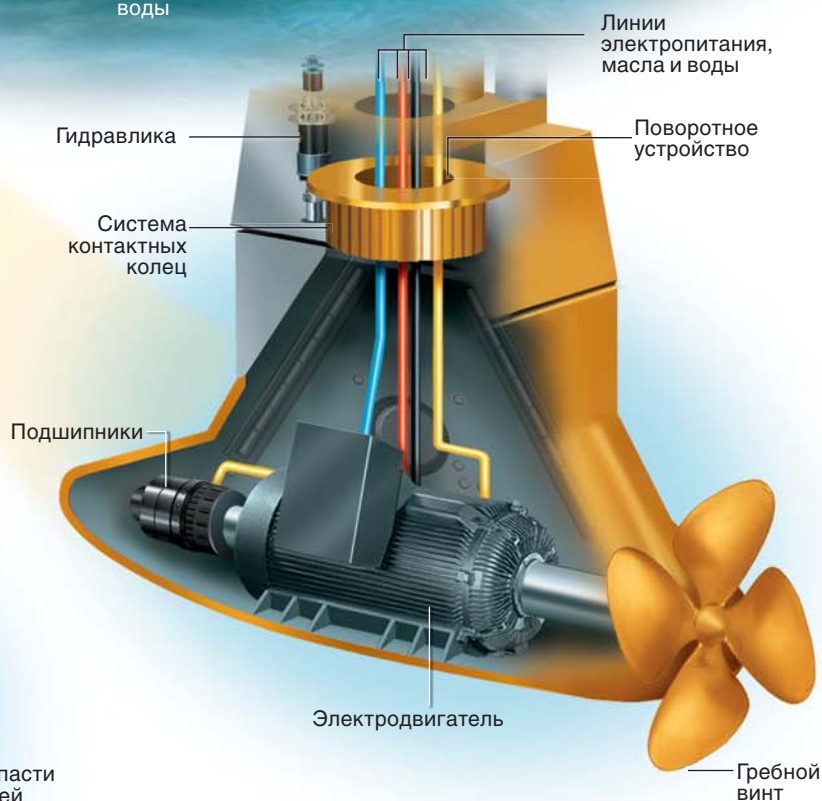
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ СУДНО. На новых круизных судах «серые» воды из душей и умывальников перерабатываются в чистую воду для различных нужд; очищаются и так называемые «черные» (фекальные) воды: после очистки они сливаются в море, а твердые отходы доставляются на берег. Некоторые операторы экспериментируют также с очисткой выхлопов дизелей с помощью скрубберов.

МОРСКОЙ ЗАКОН. Как только пассажир ступает на борт судна, он попадает под юрисдикцию страны владельца судна. *Oosterdam* плавает под нидерландским флагом, поэтому на пассажиров распространяются законы Нидерландов.

СКРЫТАЯ КОМАНДА. В течение недельного круиза в команду корабля входят девять морских офицеров (капитан, его помощники и штурманы), 17 механиков, офицер-эколог, офицер по информационным технологиям, электрик, плотник, слесарь, обойщик-драпировщик и плиточник. Пассажиров обслуживают 400 стюардов и 400 официантов — все индонезийцы и филиппинцы. Они работают семь дней в неделю 10 месяцев в году, живут в двухместных каютах и ходят по потайным трапам.

→ МАШИНЫ,

танки и множество механизмов распределены по нижним палубам корабля, редко видимым пассажирами



→ ДВЕ СТАЛЬНЫЕ ЛОПАСТИ

длиной по 7,3 м препятствуют бортовой качке судна под действием волнения моря



→ ГРЕБНОЙ ВИНТ

приводится во вращение электродвигателем, установленным внутри системы Azipod. Ток для его питания вырабатывают генераторы, вращаемые дизелями. Гидравлика может поворачивать весь узел на 360°. Ток для электродвигателя, смазочное масло и вода для охлаждения подаются через шарнирное соединение

Олег Сеньков, PhD

Мозг — это гиперсложный пространственно-временной транслятор, или Парижский разговор с Юрием Бужаки

Одним ранним июньским утром в кафе *Le Gentilhomme* на бульваре Сен-Жермен корреспонденту «В мире науки» удалось встретиться с Юрием Бужаки (György Buzsáki), одним из наиболее успешных современных исследователей мозга. Беседа, предполагавшая быть недолгой, неожиданно переросла в увлекательный рассказ, краткую запись которого мы предлагаем нашему читателю

— Юрий, какие интересные эксперименты проводятся в вашей лаборатории в Рутгерсе?

— Я сейчас работаю над многими темами. Одно из самых моих сокровенных желаний — понять, какие механизмы работы мозга лежат в основе нашего когнитивного поведения. Если я попрошу вас рассказать о каком-то эпизоде прошлого, например о вашей студенческой жизни, — рассказ займет несколько вечеров, так? Где же хранятся

все эти тонны информации в мозге, как мы находим нужные «файлы» и связываем их вместе? Ответ очень прост. Где-то в глубинах нашего мозга существует некая «лампочка», назовем ее так, которая зажигается всегда, когда нам нужно что-то вспомнить. Она отбрасывает нас назад в наше прошлое и воссоздает в деталях тот пространственно-временной интервал, в котором произошло данное событие. Если говорить на языке нейрофизиоло-

гии, эта «лампочка» освещает именно тот ансамбль нейронов в мозге, из которого, как из головоломки, постепенно воссоздается фотографический снимок события — объекта нашего воспоминания, все его пространственно-временные, даже эмоционально-когнитивные детали. Теоретически это может происходить бесконечно — одна история цепляет другую, а та рождает десять новых. Парадоксально, но если полностью ограничить вход любой информации в наш мозг извне, то эта «лампочка» все равно будет зажигаться и запускать цепочки нейронных ансамблей из прошлого постоянно, спонтанно. Без этого невозможен ни один когнитивный акт. Вот эти вопросы мы и пытаемся сейчас изучать в нашей лаборатории.

— Не является ли данная спонтанная активность мозга шумом, помехой для «реальной» жизненно важной деятельности?

— Многие ученые рассматривают это как проблему. «Спонтанная активность мозга — шум, который не несет никакой полезной информации, и поэтому должен быть

отфильтрован мозгом при осуществлении вычислительных операций» — говорят они. Для меня же этот «шум» — самая интересная часть когнитивной деятельности мозга, потенциальный источник нашей познавательной способности, интеллекта.

— Современное представление о работе памяти сводится примерно к следующему ряду: слова, запахи, фотографии, музыка — внешние стимулы; мистическая «лампочка» в мозге — некий библиотекарь, который знает, где хранятся файлы, т.е. наши воспоминания, которыми в свою очередь являются нейронные ансамбли. Получается, что в нашем мозге все статично? Или все же клеточные ансамбли наших воспоминаний постоянно трансформируются в зависимости от текущего состояния мозга, опыта индивидуума, и нет «чистого» неизменного прошлого?

— Не совсем так. Мозг не имеет ни прошлого, ни настоящего, ни будущего состояния, для него не существует ни времени, ни пространства — это более сложная структура, чем просто набор, хоть и большой, разных популяций нейронов, аксонов и глиальных клеток. Мозг — гиперсложный транслятор, где *x-y-z* координаты пространства переводятся в категории времени — миллисекунды. Все физические характеристики пространства, все, что в нем находится, перекодируется в интервалы времени, разряды спайков, временной код, который в свою очередь транслируется в долговременную потенцию или депрессию синапсов, которые формируют функциональные связи клеточных ансамблей и сами ансамбли. Сила этих связей может варьировать в зависимости от времени и паттерна приходящих спайков, одни синаптические контакты усиливаются, другие ослабевают, и все это формирует разные шкалы клеточной памяти. Таким образом, трехмерное пространство транслируется в одномерное — время,



Юрий Бужаки, венгр по происхождению, уже более 20 лет живет и работает в США, заведует лабораторией, изучающей мозговые осцилляции в гиппокампе и неокортексе при Центре молекулярных и поведенческих нейронаук в Университете Рутгерса (<http://osiris.rutgers.edu/frontmid/indexmid.html>), занимает сегодня лидирующее положение в топе самых цитируемых авторов научных работ, которых у него самого более 200 (опубликованы в таких журналах, как *Cell*, *Neuron*, *Nature Neuroscience*, *Science*, *PNAS* и т.д.), автор недавно вышедшей книги-бестселлера *Rhythms of the Brain* («Ритмы мозга»).

и хранится в памяти синаптических контактов.

— **Это очень интересная концепция четырехмерного транслятора. А как экспериментально можно увидеть его работу в живом мозге?**

— В гиппокампе, структуре мозга, отвечающей за память и обучение, есть так называемые «клетки места», открытые Джоном О'Кифом (John O'Keefe) из Лондонского университета в далеком 1971 г. Их главная задача — кодировать точные *x-y* координаты животного в пространстве (*клетки места есть и у человека, они создают как бы внутреннюю карту окружающей среды, в которой человек находится.* — Прим. О.С.). Если мышь или крысу поместить в специальный миниатюрный длинный коридор и заставить просто бегать вперед и назад в поисках сладкой подкормки, одновременно ведя регистрацию большого числа нейронов в гиппокампе через имплантируемые электроды, то экспериментатор удивится тому, что каждый отдельный сегмент коридора будет представлен одним или несколькими нейронами, они будут выдавать максимальное количество спайков только в определенных точках пространства, как бы и когда животное ни бежало, таким образом «помечая» эти места во внутреннем «навигаторе» — гиппокампе. Итак, если посмотреть, что происходит в крохотный промежуток времени — всего 100 мс, десятая часть секунды, — то в этом «окне» будут активными многие и многие нейроны. Возникает вопрос, зачем это нужно, и как их активность соотносится друг с другом? Приведу один пример: если животное перемещается слева направо по коридору, и нейрон А «выстрелит» спайки первым, а за ним последуют нейроны В, С, D и т.д., то их территории кодирования будут на определенном расстоянии, например 30 см друг от друга. Если животное бежит со скоростью 30 см/с, значит, нейрон В будет максимально активным через полсекунды после нейрона А, но их территории кодирования перекрыва-

ют друг друга, например нейрон В начнет производить спайки через 10 мс после начала активности нейрона А.

Если взять теперь другую клетку в цепочке, например нейрон С с территорией кодирования, т.е. точкой максимума активности, находящейся на расстоянии 40 см от максимума нейрона В, это означает, что сдвиг начала его активности будет уже 12 мс по отношению к нейрону В, и т.д. Большое расстояние в пространстве между максимумами территорий кодирования — больше временной сдвиг между активностью клеток места. Время теперь представляет пространство, какие-то его особенности. Что удивляет еще больше — если взять все тот же небольшой интервал времени в 100 мс, то всего один цикл, колебание так называемых *theta*-осцилляций (*волновая активность мозга с частотой пульсаций 4–12 циклов в секунду (Гц) у грызунов, 4–8 Гц у человека* — Прим. О.С.), при этом регистрируя большое число клеток места одновременно, то все эти нейроны, их активности, выстроятся в упорядоченную цепочку активностей нейронов А, В, С, D и так далее, всего на одном цикле *theta*-ритма. Более того, этот паттерн всего в 100 мс будет кодировать активность клеток места пространства размером в 2–3 м, и по этой последовательности можно легко предсказать, какие нейроны и где будут максимально активными по ходу дальнейшего движения животного по коридору.

— **Получается, что в гиппокампе информация о пространстве и расстояниях сжимается, упаковывается в более компактный код: сантиметры и метры переходят в миллисекунды, так? Для чего это нужно? Наш «медленный» мир, в котором все значимые события происходят в шкале секунд и минут, должен быть каким-то образом представлен в мозге, который оперирует только миллисекундами?**

— Совершенно верно! Секундные события в нашем «медленном» мире

должны быть как-то представлены в шкале, по которой работают нейроны. Это означает: для того чтобы связать в мозге два отдельных события вместе, они должны быть конвертированы во временную шкалу, в которой работает синаптическая пластичность. В мозге нет механизма (или по крайней мере пока мы о нем не знаем), который мог бы связать два события, происходящие за несколько секунд; синаптическая интеграция происходит, и клеточная память формируется в нейронах, которые детектируют пресинаптическую активность в диапазоне нескольких десятков, максимум сотен миллисекунд. Поясню на примере. Если нейроны А и В связаны синапсами с общим нейроном С, посылают ему информацию в виде двух пачек спайков (каждый нейрон — свою), и эти пачки придут к нейрону С с задержкой в несколько секунд, то эти два события будут расценены нейроном С как два независимых события. Но если расстояние между ними находится в диапазоне миллисекунд — тогда как одно событие. Так мозг создает ассоциации интересных сведений о мире, который его окружает.

— **Таким образом, современная клеточная теория формирования памяти — синаптическая пластичность, в основу которой легли два противоположных по направленности процесса — долговременная потенция и депрессия, открытые Тимом Блиссом (Tim Bliss) из Англии и Терье Ломо (Terje Lomo) из Норвегии в 1966–1972 гг., может быть расширена вашей новой теорией об осцилляциях?**

— Для того чтобы сделать какой-то синапс сильным, как бы «помним» что-то, необходимы условия, при которых пресинаптический нейрон или ансамбль нейронов разряжаются спайками в очень короткий промежуток времени, раз за разом, другими словами, синхронизация — основа клеточной памяти. Один нейрон, говоря образно, в поле не воин, он не может существенно повлиять на постсинапти-

ческий нейрон (если только постсинаптический нейрон не активирован синхронно, в одно и то же время с пресинаптическим нейроном, что может привести также к усилению синапса. — Прим. О.С.). Но когда нейроны разряжаются спайками вместе, их влияние на постсинаптический нейрон суммируется, образуется устойчивая синаптическая связь (связи), а группа нейронов с синхронной активностью образует нейрональный ансамбль, кодирующий какую-то особенность окружающей среды, пространства, его энную переменную, другими словами, кодирующий одну и ту же часть информации. Интересно, что в то же самое время данный кле-

дет или нет образован долговременный клеточный ансамбль, хранящий какой-то бит информации.

— **Как же в мозге формируется логичная, строго адекватная картина мира, когда ему приходится оперировать таким колоссальным объемом информации, поступающей практически постоянно от пяти различных органов чувств?**

— Это действительно очень интересно! Чем больше я занимаюсь изучением мозга, тем больше восхищаюсь гениальностью «конструкции» этого устройства. Осцилляторная активность в мозге образуется за счет протекающих одновременно ингибирующих и возбужда-

разных пути следования по коридору перестали бы существовать в мозге животного. Такая интеграция и сегрегация за счет осцилляций происходят в мозге очень эффективно и почти без энергетических затрат.

— **Завершая наш разговор, я хотел бы задать «ненаучный» вопрос. Есть ли в жизни Бужаки другие интересы кроме науки? Какие-то хобби?**

— Мне приятно, что сейчас молодежь живо интересуется нейронауками, задается вопросом: «Как работает мозг?» Да, хобби у меня есть! (смеется) Когда я был тинейджером, я увлекался любительским радио, это был мой первый источник вдохновения для того чтобы исследовать разные виды коммуникаций, кодирования (я был тогда хорошим знатоком кода Морзе) и осцилляций (я построил сам почти все свое оборудование). Мое увлечение сейчас — современная архитектура, я особенно интересуюсь архитектурными сооружениями, идеями и технологиями, которые легко масштабируются, т.е. могут быстро и эффективно быть перестроены под разные нужды. Масштабирование функций, кстати, это одна из главных проблем, интенсивно изучаемых и относительно мозга.

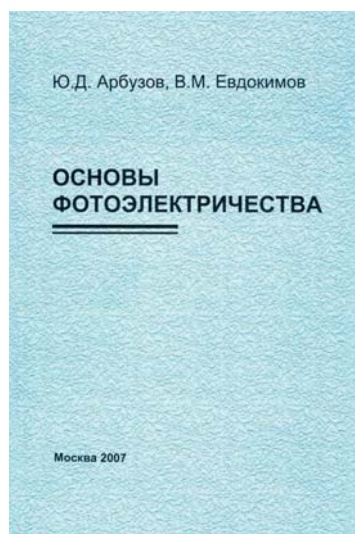
— **В околонаучной среде постоянно ходят слухи, что легче попасть на Луну, чем в аспиранты к Бужаки. Так ли это? Есть ли вообще возможность для какого-нибудь пытливого студента из Москвы или Питера работать с вами?**

— Я могу похвастаться: два русских ученых, Антон Брагин и Антон Сирота, работали у меня более восьми лет. Кроме того с короткими визитами меня посещали и другие российские исследователи, например Рустам Казипов, который сейчас работает в Марселе. В настоящее время в лаборатории мы говорим аж на 12 разных языках. Русские всегда хорошо подкованы в математике, физике и инженерных науках, а такой «технический» базис сейчас — просто первая необходимость в нейронауках. ■

Где-то в глубинах мозга существует некая «лампочка», которая зажигается всегда, когда нам нужно что-то вспомнить

точный ансамбль должен быть сегрегирован, обособлен от тысяч других одновременно существующих в мозге, в данной структуре, в данное время. Интеграция и сегрегация — одни из самых фундаментальных процессов в природе; что схожее, что разное — всегда зависит от контекста. «Нарезать» информацию кусочками, разделить ее и упаковать по схожести в отдельные файлы, плюс составить каталог всех файлов и постоянно его обновлять — это главные рутинные задачи мозга. Все, что мы называем словом «информация», имеет начало и конец, как в ДНК все протеины закодированы в генах, каждый из которых имеет и начальный и конечный старт- и стоп-сигналы, соответственно. Если применить эту идею к мозгу, то очевидно: будь мозговая активность постоянной, без начала и конца, для мозга это означало бы полную информационную смерть. Время в мозге — это все! От малейших вариаций в синхронизации работы двух нейронов или двух популяций нейронов зависит, будет или нет усилен синапс между ними, и таким образом бу-

ющих процессов, которые имеют разную силу в каждый момент времени. Если некий нейрональный ансамбль в гиппокампе кодирует некую энную характеристику пространства, то его суммарная активность постоянно флюктуирует в промежутке одного *theta*-цикла в 100 мс, на конце которого все нейроны неожиданно становятся молчащими или почти умолкнувшими, и так с каждым *theta*-колебанием. Это прекрасные старт- или стоп-сигналы для мозга в процессе «упаковки» информации и «нарезания» ее на отдельные сегменты. Как в языке гласные и согласные звуки формируют слова, которые складываются в речь, так эти периоды молчания в каждом *theta*-цикле нейрональных ансамблей — в удобочитаемые для мозга единицы информации. Одна траектория пути животного по коридору кодируется последовательностью нейронов A, B, C, D, другая, после стоп-сигнала, — нейронами E, F, G, H и т.д., и все это за момент времени всего в 200 мс; без *theta*-осцилляций разделить эти два нейрональных ансамбля было бы невозможным, и соответственно, два



Арбузов Ю.Д.,
Евдокимов В.М. Основы
фотоэлектричества.
М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007.

Основы фотоэлектричества

Фотоэлектрические преобразователи энергии получили широкое распространение не только в космической технике, но и в наземном применении: от масштабной солнечной энергетики до персональных калькуляторов. Содержание книги охватывает широкий круг проблем от теории фотоэлектрического эффекта до исследований характеристик конкретных конструкций фотопреобразователей и путей повышения их эффективности. Рассмотрены как обычные двухслойные структуры с p - n переходом, так и более эффективные современные многослойные структуры с учетом свойств поверхностей раздела.

Представлены результаты исследований фотоэлектрического эффекта в гетероструктурах, на которых в настоящее время создаются солнечные элементы с наибольшим КПД, и в неоднородных

полупроводниковых слоях, что открывает пути оптимизации современных фотоэлектрических систем на основе контактов металл-проводник.

Приведены характеристики аморфных полупроводников и относительно дешевых фотопреобразователей. Изложены результаты исследований по новому высокоэффективному способу преобразования энергии на основе объемного фотоэлектрического эффекта в неоднородно легированных полупроводниках.

В основу книги положен курс лекций по физике проводниковых преобразователей, читавшийся авторами в Московском физико-техническом институте. До сих пор не существовало столь исчерпывающего и систематического изложения материала по фотоэлектричеству, данная книга полностью восполняет этот пробел.

Этот странный микромир

В книге популярно изложены основные идеи квантовой механики. Обсуждаются такие важные понятия, как квантовое состояние, корпускулярно-волновой дуализм, нелокальность и квантовые скачки. Большое внимание уделено физическому смыслу волновой пси-функции.

Парадоксальность квантового мира раскрывается на примере спора двух выдающихся физиков XX столетия — Эйнштейна и Бора. Подробно разбирается мысленный эксперимент Эйнштейна о «взвешивании фотона», в котором он пытался «обойти» принцип неопределенности, и критика этого эксперимента Бором. Анализируется знаменитый мысленный эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена и интерпретация, данная ему Бором. Вводится понятие

дискретного движения, которое, по мнению автора, может помочь начинающим физикам лучше понять квантовую механику в ее копенгагенской интерпретации.

В последней главе обсуждается достаточно спорная гипотеза о квантовых нелокальных связях, существующих между живыми организмами. Эти связи могли сформироваться в далеком прошлом в момент зарождения жизни в Мировом океане. Согласно этой гипотезе, все живые существа, объединенные в единое целое — биосферу, образуют своеобразный гигантский природный квантовый компьютер, работа которого направлена на поддержание экологического равновесия между различными видами животного и растительного мира и окружающей средой.



Янчилин В.Л. Логика квантового
мира и возникновение жизни на
Земле. М.: Новый Центр, 2007.

Всемирный Фестиваль Вина

5-7 декабря 2008 года

Москва, Крокус Экспо



- ДЕГУСТАЦИЯ • ВИННЫЙ БУТИК
- МУЗЫКАЛЬНЫЙ ФЕСТИВАЛЬ NuNoteLongeWinter



Асти Групп
выставочная компания

1 2 1 0 9 9 , Россия , Москва
Смоленская пл., д. 3, «Смоленский Пассаж»
Тел.: +7 (495) 797-6914, факс: +7 (495) 797-6915
E-mail: wine@astigroup.ru, www.wine-salon.ru



**М.К. Тенишева в зеркале
Серебряного века.** М., 2008.

Судьба в истории

Выход книги «М.К. Тенишева в зеркале Серебряного века» приурочен к 150-летию выдающейся представительницы русской культуры рубежа XIX–XX вв. Цель издания — показать всю многогранность личности Тенишевой в контексте сложной, но чрезвычайно интересной эпохи. В нем отражены все этапы ее творческой, меценатской, организаторской, коллекционерской деятельности. В круг общения Тенишевой входили практически все выдающиеся представители русской культуры Серебряного века, поэтому ее жизнь отражала художественную жизнь России этого периода.

Книга содержит около 350 иллюстраций. В нее вошло большое число произведений искусства и архивных документов, имеющих важное научное значение. Многие материалы публикуются впервые. Среди них неизвестные архивные документы, фотографии и произведения художников Серебряного века. Часть из них находится в зарубежных архивах и частных собраниях. Так, например, материалы парижского фонда «Кустодия»

впервые стали доступны отечественным исследователям — авторам выставки О. Струговой и Р. Клавьен. Впервые публикуются обнаруженные в частном парижском собрании парные скульптуры выдающегося художника Д.С. Стеллецкого, выполненные в 1922 г. по заказу Тенишевой и открывающие новую, неизвестную страницу его творчества. Их ценность усиливает письмо автора к Тенишевой о создании этих скульптур, обнаруженное в фонде «Кустодия». Несомненный интерес вызовет первая публикация сведений из письма тети С.П. Дягилева к М.К. Тенишевой о настоящем месте рождения этого выдающегося деятеля русской культуры рубежа XIX–XX вв.

Жизнь Тенишевой завершилась в 1928 г. во Франции в городке Вокрессон под Парижем. Здесь, на вилле, прозванной Н.К. Рерихом «Малое Талашкино», она работала как художница. Это место стало одним из культурных центров русского зарубежья. В книге впервые опубликованы произведения Тенишевой периода эмиграции, а также репродукции произведений искусства, окружавшие ее в последние годы жизни.

Солнечные энергетические установки

Книга посвящена солнечным концентраторам — оптическим устройствам, использующимся в солнечных электростанциях для повышения плотности потока солнечного излучения. В XVIII в. М.В. Ломоносов предложил многолинзовую солнечную печь, в конце XIX в. профессор В.К. Цераский провел опыты по расплавлению металлов с помощью концентрированных солнечных лучей, а в 1959 г. вышла первая аналитическая работа, посвященная использованию концентраторов солнечного излучения. В данной книге отражен почти полувековой опыт российских специалистов по созданию таких установок. В издании рассмотрены конструкции, характеристики и методы изготовления параболических и составных концентраторов, устройств на основе линз Френеля, голографических концентраторов. Большое внимание уделено разработке

и исследованию новых типов солнечных концентраторов, которые могут работать круглый год без слежения за положением солнца. Предложены новые концентрирующие системы для солнечных фотоэлектрических модулей и солнечных тепловых электростанций, которые демонстрируют высокие характеристики. Заключительная глава посвящена экономическим вопросам, дана краткая характеристика ситуации на рынке фотоэлектричества, приведены примеры расчета окупаемости солнечных электростанций и оценки экономической эффективности. Книга предназначена для всех, кто занимается проектированием, изготовлением и эксплуатацией солнечных энергетических установок, а также может быть использована как учебное пособие по специальности «Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии».



**Д.С. Стребков,
З.В. Тверьянович.**
Концентраторы солнечного
излучения.
М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007.

ИЮПАК в Москве

14 сентября в Фундаментальной библиотеки МГУ состоялась 2-я международная конференция Международного союза теоретической и прикладной химии по зеленой химии (ИЮПАК). В Москве такое мероприятие проводилось впервые.

В конференции приняли участие декан химфака МГУ В.В. Лунин; директор департамента реализации конвенционных обязательств в министерстве промышленности и торговли РФ В.И. Холстов; и.о. проректора МГУ, академик А.Р. Хохлов; заместитель руководителя департамента науки и промышленной политики Москвы Е.Б. Балашов; вице-президент Всероссийского химического общества Н.П. Тарасова; экс-президент Международного гуминового общества Пол Блум (Paul Bloom) (США); президент Международного гуминового общества Ежи Вебер (Jerzy Weber) (Польша).

Главным событием конференции стали лекция академика РАН В.Н. Чарушина «Принципы зеленой химии в органическом синтезе» и доклад профессора Университета Теннесси (США) Джозефа Бозелла (Joseph Bozell) «Перспективы применения лингина и подобных материалов для получения ценных продуктов».

Учеными были затронуты такие темы, как экологические реагенты и пути проведения реакций, гетерогенный катализ, гомогенный и ферментативный катализ, экологически чистые источники энергии, использование возобновляемых ресурсов, экологически чистые промышленные процессы и др.

В России применение зеленой химии особенно актуально в аспекте рекультивации почв. Известно, что наша страна имеет огромный опыт в применении в сельском хозяйстве органических удобрений и стимуляторов роста. Однако появилось много препаратов и на основе продуктов животноводства.

Проведенная конференция предоставила возможность ученым разных стран обсудить последние открытия и достижения в области гуминовых технологий. ■

Анна Кадырова
Фото автора



Вице-президент Всероссийского химического общества Н.П.Тарасова

И.о. проректора МГУ,
академик А.Р. Хохлов



XX Симпозиум «Современная химическая физика»: неделя в Туансе



Ежегодно в начале осени в пансионате МГУ им. М.В. Ломоносова «Буревестник-2» проходит Симпозиум «Современная химическая физика». В этом году состоялась юбилейная двадцатая встреча ученых.

Конференция пользуется большой популярностью в научном сообществе благодаря своим многолетним традициям, жарким научным дискуссиям, на которые в немалой степени вдохновляет само место проведения — солнечный город на берегу Черного моря. Внимание к юбилейному симпозиуму было повышенным — заявок поступило вдвое больше, чем в прошлом году. Участникам и гостям была предложена весьма насыщенная научная программа: 18 лекций, 67 докладов и 320 стендовых сообщений. Программа охватила самые разные области исследований, однако приоритет в нынешнем году негласно отдан нанонаукам: нанохимии, нанофизике, нанобиологии и нанотехнологии.

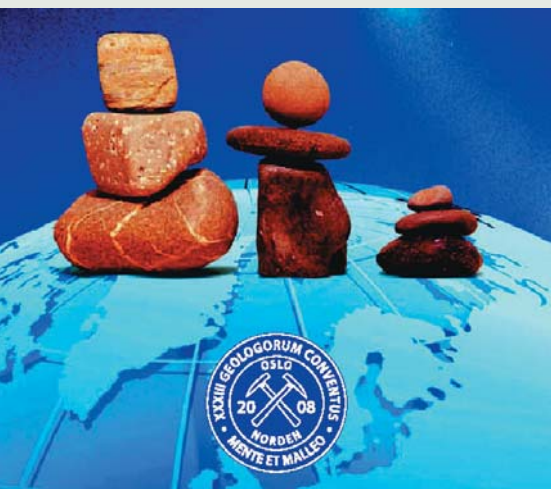
Организаторы приложили все усилия, чтобы участники и гости симпозиума смогли поделиться друг с другом опытом, рассказать о своих научных и отраслевых достижениях за год, найти единомышленников для дальнейшей работы и в то же время отдохнуть на морском побережье.

В рамках симпозиума прошли конкурсы на лучшую научную работу, на лучшее прикладное исследование с перспективами внедрения в экономику и на лучшую работу молодых ученых. Авторитетная комиссия на протяжении всех дней форума оценивала представленные проекты. В состав комиссии вошли академик В.И. Нефедов (Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН), академик А.К. Ребров (Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН); академик Ю.Д. Цветков (Институт химической кинетики и горения СО РАН), председатель оргкомитета симпозиума, профессор

Б.Р. Шуб (Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН), председатель программного комитета симпозиума, академик А.Л. Бучаченко (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова), член-корреспондент РАН С.П. Громов (Центр фотохимии РАН), член-корреспондент РАН А.Н. Озерин, директор Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, и С.А. Озерин, ученый секретарь симпозиума, выпускающий редактор журнала «Российские нанотехнологии».

В этом году по инициативе компании «Парк-медиа» и журнала «Российские нанотехнологии» состоялась I Молодежная школа-конференция «Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов», в работе которой приняли участие аспиранты, молодые ученые и известные специалисты. ■

Павел Худoley



Геология: о прошлом и будущем

года планеты Земля. Это мероприятие можно без преувеличения назвать научным фестивалем: в нем приняли участие более 6 тыс. человек из 113 стран. Российская делегация, около 500 человек, по численности уступала только делегации хозяев, что еще раз подтверждает интерес мирового научного сообщества к работам российских коллег. Необычайно широк спектр тем, представленных на конгрессе. Это фундаментальные и прикладные исследования в области геологии, геохимии, геофизики и смежных наук. В рамках конгресса прошел симпозиум по региональной геологии, где основное внимание было уделено Арктическому региону, его

ресурсам, перспективам развития, возможностям научного и экономического сотрудничества в освоении региона. В ряде докладов отражена обеспокоенность ученых различных стран и специализаций по поводу глобального изменения климата и истощения невозобновляемых ресурсов, обсуждались угрозы глобальных катастроф и минимизация риска. Отдельная секция была посвящена вопросам образования в области геологических наук. Поощрялось участие в конгрессе молодых ученых, поскольку их вовлечение важно для будущего науки. Следующий конгресс пройдет в 2012 г. в Австралии. ■

Ирина Прошкина

Международные геологические конгрессы регулярно проводятся с 1878 г. 33-й конгресс состоялся в этом году в Осло и стал крупнейшим событием Международного полярного года и Международного

Переосмысливая философию будущего

В Сеуле (Южная Корея) состоялся XXII Всемирный философский конгресс «Переосмысливая философию сегодня». Более 2 тыс. участников обсуждали актуальные проблемы онтологии, гносеологии, этики, эстетики, логики, социальной и политической философии, антропологии и философии науки, а также других направлений развития философской мысли. Значительное место на конгрессах традиционно отводится истории философии — от античности до современности, в 2008 г. особое внимание было уделено восточной философии, в том числе китайской и корейской, а также актуальным проблемам глобализации, космополитизма, глобальной цивилизации. Около 200 участников конгресса прибыли из России, русский язык стал одним из рабочих языков конгресса. С пленарным докладом «Глобализация и космополитизм в контексте современности» выступил первый вице-президент Российского философского общества, ведущий научный сотрудник Института философии РАН, главный редактор

«Вестника Российского философского общества», доктор философских наук А.Н. Чумаков. В очередном номере журнала будут опубликованы обобщенные итоги и мнения о конгрессе российских участников.

После сеульского форума 78 российских и зарубежных философов из Германии, Испании, Словении, Турции, Китая, Южной Кореи и Украины теплоходом прибыли из Южной Кореи во Владивосток, где стали участниками международной конференции «Современная философия в контексте межкультурных коммуникаций». Затем они провели культурно-просветительскую акцию «Философский поезд», проехав от Владивостока до Москвы в специально выделенных для этого ОАО РЖД четырех вагонах. В наиболее крупных городах по ходу следования «философского поезда» — Хабаровске, Чите, Улан-Удэ, Иркутске, Красноярске, Новосибирске, Екатеринбурге и Казани — были запланированы длительные остановки, во время которых проходили конференции, круглые столы, творческие встречи, пос-

вященные развитию отечественной философии и актуальным проблемам регионов. По мнению А.Н. Чумакова, подобные контакты философов и любителей философии способствуют появлению новых идей, развивают философское мировоззрение. Сегодня в Российском философском обществе более 6 тыс. членов, однако основными философскими центрами остаются Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Ростов-на-Дону. Во всемерном развитии философского мировоззрения ученые видят выход из многих проблемных ситуаций современности.

Следующий Всемирный философский конгресс должен состояться через пять лет в Афинах. Пока ученым-философам предстоит осмыслить XXIX летние Олимпийские игры в Пекине и вооруженный конфликт в Южной Осетии, которые отвлекли внимание мировой общечеловечности от столь важного философского события. Одной из серьезных проблем философии остается взаимосвязь гуманистической теории и практики. ■

Дмитрий Мисюрлов



ТЕРМООБРАБОТКА

2-я международная специализированная выставка

11 - 13 ноября 2008 года
Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»,
павильон № 5

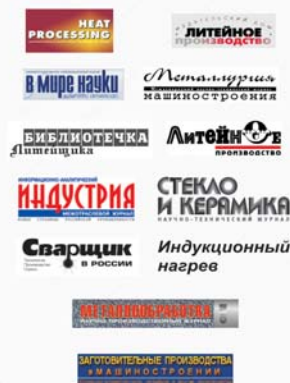
ОРГАНИЗАТОР:
Выставочная компания «Мир-Экспо»



ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ:

- Современные технологии и оборудование термомеханической, термохимической, размерной и поверхностной обработки различных материалов
- Энергосберегающие технологии термических производств
- Нагревательное печное оборудование: вакуумные печи, дуговые печи, индукционный нагрев, электрические печи сопротивления, электронно-лучевые и электронно-пучковые нагревательные устройства
- Закалочное оборудование и охлаждающие среды
- Электротермические установки экологического назначения
- Контроль качества термообработки
- Теплотехнические измерения в термических производствах
- Инфракрасный и СВЧ нагрев
- Плазменное формообразование и напыление
- Лазерная поверхностная обработка

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:



ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

В рамках выставки проводится вторая научно-практическая конференция
«Инновационные технологии термообработки»

Оргкомитет - ООО «Выставочная компания «Мир-Экспо»: Россия, 115533, Москва, проспект Андропова, 22
Тел./факс: 8 499 618 05 65, 8 499 618 36 83, 8 499 618 3688 | info@mirexpo.ru | www.mirexpo.ru



Анатолий Гендин

пробка всему голова?

ЧЕМ ЛУЧШЕ УКУПОРИТЬ БУТЫЛКУ

С удовольствием разбираясь в нюансах вкуса и аромата вина, мы часто забываем о важной роли пробки — той самой, которую так приятно извлечь штопором из бутылочного горлышка

Как-то уже подзабылось, что и по бутылкам-то разливать вино стали относительно недавно, всего лишь несколько столетий назад; до этого его и выдерживали, и хранили в бочках, отверстия в которых затыкали большими деревянными

ми пробками. Введение натуральной корковой пробки в винодельческий обиход приписывают легендарному французскому монаху, придумавшему шампанское: якобы тот самый Дом Периньон и был первым виноделом, в XVII в. заткнувшим бутылку корко-

вой пробкой. Долгое время такая пробка казалась идеальным решением; ее пористое тело позволяло вину «дышать» и развиваться в бутылке.

Крупнейший поставщик корковой пробки на мировом рынке — Португалия, на втором месте Испа-

© ФОТО: АГЕНТСТВО «ЛОКАТОР»

ния. Производят ее из толстой коры пробкового дуба *Quercus suber*. Такие дубы даже специально высаживают, но первую кору снимают лишь через четверть века, и то она еще не годится для производства качественной пробки. Через 9–10 лет кора полностью восстанавливается и ее снимают еще раз, но лишь с третьего захода, то есть примерно через 45 лет после посадки дерева, такую

ваемый «вкус пробки» (как говорят французы, *le gout de bouchon*) и неприятный запах плесени или мокрого картона. Вино в этом химическое соединение трихлоранизол (ТСА), которое проявляется в пробке, хотя иногда им могут быть заражены производственные помещения или подвалы, где вино выдерживается. Никакого вреда нашему здоровью этот дефект вина не

наносит, но и радости от употребления такого продукта мало.

В среднем «корковый» брак — это 3–5% всего объема винного производства. Вроде бы и немного, но ежегодно во всем мире требуется более 13 млрд бутылочных пробок. Не зря для профессиональных винных дегустаций всегда запасают резервные бутылки — именно на случай дефекта пробки. Опыт-



кору можно использовать по назначению. На каждом дереве помечают год «сбора урожая» — чтобы не забыть, когда с него снимали кору.

Большие пласты дубовой коры сначала с полгода сушат в естественных условиях, затем промывают очень горячей водой под давлением и выпрямляют. Существует целая шкала градаций качества пробкового сырья, таблицы с соответствующими образцами висят в цехах. Самые лучшие пласты нарезают на полосы, их ширина и есть длина будущей пробки. Слишком тонкую кору и отходы от больших полос измельчают в крошку, которую затем склеивают в однородную массу, из нее штампуются более дешевые «гранулированные» пробки.

Проблема с пробкой возникла как будто неожиданно. То есть на самом деле она существовала всегда, просто осознали ее как реальную и масштабную относительно недавно. Дело в том, что иногда у бутылочного вина появляется так назы-





ные эксперты могут почувствовать признаки *ТСА* даже при его концентрации, сопоставимой с одним кристаллом соли на плавательный бассейн олимпийского стандарта, для обычного потребителя этот порог гораздо выше. При этом виноделы больше озабочены как раз незначительным присутствием

ТСА, чем его очевидным избытком: в последнем случае ситуация ясна — виновата пробка, а вот легкое изменение аромата и вкуса неискушенный потребитель может принять за дефект вина, а не пробки.

Немало сил и средств тратят производители пробки на исследование самой проблемы появления *ТСА* и поиски эффективных способов борьбы с ней. Суть одной из технологий состоит в специальной обработке коркового сырья паром высокого давления, после чего содержание в пробке всяческих вредных ингредиентов, в том числе и *ТСА*, резко снижается. Пар оказался предпочтительнее разнообразных химических соединений, которыми пробовали победить

ТСА, — от следов этой химии тоже приходилось как-то избавляться.

К тому же проблемы, по привычке приписываемые натуральной пробке, могут возникнуть даже при ее отсутствии. Зловредный *ТСА* может таиться в плохо промытом технологическом оборудовании на винодельне или даже появиться в результате непродуманных мер по обеспечению чистоты — например, если мыть бетонные полы хлорсодержащими средствами, которые при соединении с виноградными фенолами как раз и могут привести к образованию *ТСА*. Дальше — неизбежная цепная реакция: трубы и шланги, соединительные муфты, разливочное оборудование и т.д. Бывает, что и тщательная уборка не дает результата; приходится менять технологическое оборудование и даже перестраивать всю винодельню с заменой стен и потолка.

Параллельно во всем мире идут поиски альтернативных способов укупорки бутылок с вином. Один из вариантов — синтетические пластиковые пробки, которые делают из отходов нефтяной промышлен-

ОБ АВТОРЕ

Анатолий Александрович Гендин — кандидат исторических наук, гастрономический журналист, писатель, автор серии гастрономических путеводителей «АТЛАС ГУРМАНА», директор информационного агентства «Локатор».

ности. Как и многие другие новации в винном мире, эта идея пришла из Австралии. Однако плотные и совершенно однородные цилиндры получаются слишком герметичными, с ними вино вообще не дышит. Да и вытащить их из бутылочного горлышка намного сложнее, чем традиционную корковую пробку, не говоря уже о том, чтобы воткнуть обратно. Правда, при этом остается хотя бы радость общения со штопором. Впрочем, и снять со штопора такую пробку тоже сложнее, чем пробковую. С другой стороны, года через полтора-два после укупорки такие пробки резко теряют свою герметичность и начинают пропускать слишком много воздуха, отчего вино в бутылке просто портится.

Еще вариант — винтовая пробка, известная западному потребителю как *screwcap* или *screw-top*. Нам она больше знакома по водочным бутылкам. Такая конструкция была запатентована еще в 1889 г., но в винном мире ей сопутствуют очевидные имиджевые проблемы — и в первую очередь ненужность штопора. Многие потребителям нравится характерный звук, издаваемый корковой пробкой в тот самый волнующий момент, когда штопор извлекает ее из бутылочного горлышка, способность пробки произвести этот гулкий хлопок иногда называют ее «сексапильностью». Многие эксперты даже подчеркивают откровенно эротический подтекст этой процедуры, что в случае, например, романтического ужина более чем уместно. Металлическая закручивающаяся пробка лишает бутылку даже очень хорошего и дорогого вина всякой романтики. Точно так же из бокала пить вино гораздо приятнее и вкуснее, чем из граненого стакана.

Появились и некоторые другие изобретения вроде похжей на аптекарскую затычку стеклянной пробки *vino-lok* с силиконовой прокладкой. Все они, как и винтовая пробка, практически исключают доступ атмосферного кислорода в бутылку. Вино в ней застраховано от всяких «корковых» неприятностей, однако под герметичным кол-

пачком появляются новые напасти. Одна из них называется редукция: соединения серы, оставшиеся в вине после определенных технологических операций, без доступа кислорода приобретают устойчивый характер и сообщают вину очень неприятные запахи — жженных спичек, резины, кислой капусты или даже тухлых яиц. Проявляется этот досадный дефект (противоположный окислению) не сразу, а примерно через год, и со временем нарастает. Такое случается и под корковой пробкой, но гораздо реже. С химической точки зрения такая проблема решается просто — добавлением меди, которая связывает серу, выводя ее вместе с неприятными запахами из жидкой среды, но не бросать же в бокал с вином медные монетки! Любопытно, что вина из разных сортов винограда в разной степени подвержены редукции. Например, *Riesling* практически ей не поддается, а вот *Sauvignon Blanc* наоборот, что виноделы и учитывают при выборе пробки для своей продукции.

Пока что все дискуссии о преимуществах и недостатках альтернативных способов укупорки ведутся в основном в сфере эмоций, а не фактов — убедительной статистики все еще нет. Обоснованные аргументы появятся лет через 15–20, когда будут вскрыты бутылки одного и того же вина, запечатанные в наши дни разными пробками. За это время можно будет перепробовать самые разные комбинации с винами разной выдержки и разного цвета — белыми, красными, розовыми. Можно лишь предположить, что наименее подходящими альтернативные пробки будут для красных вин, требующих длительной выдержки, но они вполне уместны для вин, которые принято пить молодыми (сухие белые или розовые, а также многие красные — то же божоле, например). Впрочем, далеко не всем винам вообще полезно общение с атмосферным кислородом, а некоторым классическая корковая пробка как раз противопоказана — тем же испанским хересам, которые всегда хранятся под винтовой пробкой. ■



Как внешний вид и запах пищи влияют на восприятие ее вкуса?

Отвечает Дана Смолл (Dana M. Small), нейрофизиолог из Лаборатории Джона Пирса и Йельской школы медицины

Вкус пищи представляет собой сплав самого вкуса, запаха и ощущения от ее прикосновения, в котором каждый из компонентов — неотъемлемая составная часть. Несмотря на то что вид пищи формально не входит в эту формулу, он несомненно играет важную роль.

Ощущаемый нами вкус пищи или напитка отчасти зависит от того, какие вкусовые сосочки активируются — те, которые отвечают за восприятие сладкого, кислого, соленого, горького, острого и жирного. Сенсорные клетки, тесно расположенные друг возле друга во вкусовой почке, позволяют нам воспринимать такие качества, как температура, пряность и консистенция. Не вызывает сомнения, что мы так же воспринимаем и запах пищи, хотя во рту и нет клеток, ответственных за детекцию запахов. Такое ощущение объясняется активацией клеток, расположенных в носовых ходах, хотя информация, передаваемая ими, воспринимается нами как идущая от рецепторов рта.

Восприятие запахов, поднимающихся в носовые ходы из задней части рта, называется ретроназальным

обонянием, в то время как обоняние через ноздри называют ортоназальным. Оба способа влияют на ощущение вкуса: например ванильный аромат заставляет сладкое казаться еще слаще.

Для того чтобы лично прочувствовать значение запаха в восприятии вкуса, зажмите нос и пожуйте кусочек клубничного мармелада. Вы должны при этом почувствовать сладость и немного кислинку, а также заметить, что мармелад сначала жесткий, а затем становится мягким, однако вы пока еще не почувствовали клубничного вкуса. Когда же вы разожмете нос, запаховые молекулы смогут попасть через носовую полость к обонятельным клеткам, и вы вдруг ощутите полноценный вкус клубники.

Несмотря на то что внешний вид еды играет не столь значительную роль, как запах, именно по внешнему виду мы узнаем, какая перед нами пища. Следовательно, он влияет на то, какой вкус мы ожидаем почувствовать. В одном классическом эксперименте французские исследователи подкрасили белое вино краской, не имеющей запаха, и попросили группу экспертов описать его вкус. Дегустаторы стали описывать подкрашенный напиток, как будто это было красное вино, а не белое; значит, внешний вид сыграл большую роль в восприятии вкуса. ■



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

2-3
декабря
2008 г.

**«АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИБОРЫ
В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ЭКСПЕРТИЗА, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА,
ПОДЛИННОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ»**

План научно-технических мероприятий:

- Научно-практическая конференция и выставка
- Workshops
- Workshop А «Экспертиза и система технических норм»

Официальная поддержка:

- Министерство образования и науки РФ
- Федеральное агентство по образованию,
- Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование),
- Научно-экспертный Совет Комитета Государственной Думы по аграрным вопросам,
- Российская академия сельскохозяйственных наук,
- ГУ НИИ питания РАМН.

Генеральный партнер:

Информационная поддержка:

Россия, Москва, 125080 Волоколамское шоссе, 11
Аналитический информационный центр
«МГУПП-Медиа»
Тел/Факс: (499) 158-70-22, (499) 158-72-35
Web: www.mgupp.ru E-mail: media@mgupp.ru,
mgupp-media@mail.ru



в мире науки

Кондитерское и хлебобулочное
производство

ОЧЕВИДНОЕ
НЕВЕРОЯТНОЕ

...О сколько нам открытий чудных
Готовит просвещенья дух,
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель...

А. Пушкин

ОЧЕВИДНОЕ–НЕВЕРОЯТНОЕ
НА КАНАЛЕ «РОССИЯ» ПО СУББОТАМ В 11:50 ПРОГРАММА С.П. КАПИЦЫ

ежемесячный научно-информационный журнал

В мире науки
№11 2008

ВОДА УХОДИТ
План предотвращения глобального кризиса

ДОИСТОРИЧЕСКИЕ МИГРАЦИИ
Новые генетические данные о первых путешествиях человека

СОЛНЕЧНЫЕ БУРИ
Угроза для энергосистем

ОТЧЕГО БЫВАЕТ МИГРЕНЬ
Биологи проникают в тайну мучительной болезни

www.sciam.ru

Читайте в следующем выпуске журнала

В ПРЕДДВЕРИИ ВОДНОГО КРИЗИСА

Спрос на пресную воду постоянно растет, и становится трудно прогнозировать состояние ее мировых запасов. Чтобы избежать глобального кризиса, необходимо принимать меры уже сейчас

КИТАЙСКИЕ ДЕТИ ДЫМА

Эпидемиологи ищут молекулярные маркеры воздействия загрязненного воздуха на детей

УСИЛИТЕЛЬ ВКУСА

Вещества, которые в ничтожно малых количествах способны усилить наши вкусовые ощущения, позволяют уменьшить содержание в пищевых продуктах сахара, соли и глутамата натрия, помогают избежать ожирения и сердечно-сосудистых заболеваний

ОТЧЕГО БЫВАЕТ МИГРЕНЬ

Раньше мигрень считали сосудистым расстройством, однако новые исследования выявили ее нейробиологическую природу. Хотя все еще не утихают споры о конкретных причинах мигрени, последние открытия уже позволяют разрабатывать новые методы лечения

СЛЕДЫ ДАЛЕКОГО ПРОШЛОГО

Современные исследования ДНК предоставляют нам все более ясную картину многотысячелетнего путешествия, начавшегося 60 тыс. лет назад, которое предки современных людей совершили из Африки в Южную Америку

КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ»

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.

2. Оплатить заказ/подписку в отделении Сбербанка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.

3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:

■ по адресу 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22, редакция журнала «В мире науки»;

■ по электронной почте m_biruykova@sciam.ru, info@sciam.ru;

■ по факсу: +7(495) 727-35-30, 727-35-39, 925-03-72

В 2008 г. стоимость подписки составит:

Для физических лиц: **840 руб. 00 коп.** — на полгода; **1680 руб. 00 коп.** — на год;

Для юридических лиц: **1140 руб. 00 коп.** — на полгода; **2280 руб. 00 коп.** — на год;

Стоимость одного номера журнала: за 2003-2006 гг. — **80 руб. 00 коп.**, за 2007 г. — **90 руб. 00 коп.**, за 2008 г. — **100 руб. 00 коп.**;

стоимость почтовой доставки по России — **40 руб.**

Бланк подписки на журнал размещен на сайте www.sciam.ru; также направляем бланк по факсу или e-mail.

Уважаемые подписчики! Доставка журнала осуществляется по почте заказным письмом.

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2008 г.												
2007 г.												
2006 г.												
2005 г.												
2004 г.												
2003 г.												

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

ЗАО «В мире науки»
Расчетный счет 40702810100120000141
в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187
Корреспондентский счет 30101810700000000187
ИНН 7709536556; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Платательщик		

ЗАО «В мире науки»
Расчетный счет 40702810100120000141
в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187
Корреспондентский счет 30101810700000000187
ИНН 7709536556; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Платательщик		

**ПОМИМО ЭТОГО
ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ
НА ЖУРНАЛ
«В МИРЕ НАУКИ»
ВОЗМОЖНО:**

■ в интернет-магазинах
www.subscribe.ru,
www.russische-presse.de.

■ в книжных магазинах
научного центра
«ФИЗМАТКНИГА»,
тел.: 409-93-28.

■ по каталогам:

«Пресса России»,
подписной индекс **45724** –
для физ. лиц;
39869 – для юр. лиц;

«Роспечать»,
подписной индекс **81736** –
для физ. лиц;
19559 – для юр. лиц;

«Почта России»,
подписной индекс **16575** –
для физ.лиц.;
11406 — для юр. лиц.

■ Подписка на Украине
по каталогу подписных
изданий агентства KSS,
подписной индекс **69970**.

