

ежемесячный научно-информационный журнал

В МИРЕ НАУКИ

# В мире науки

scientific american

тема номера:

№10 2005

## ПОХОРОНЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

НОВЫЕ ПОДХОДЫ  
к лечению болезни Паркинсона

МОДЕЛИРОВАНИЕ  
древних сообществ

МНОГОЛИКИЙ  
Марс



№10 2005

ISSN 0208-0621



9 770208 062001 >

[www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)



# содержание

ОКТАБРЬ 2005

## ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

18

### ПЛАНЕТОЛОГИЯ МНОГОЛИКИЙ МАРС

Филипп Христенсен

*Орбитальные аппараты и марсоходы помогли ученым познакомиться с величественными вулканами, пересохшими реками, древними озерами и продуваемыми ветром пустынями Красной планеты.*

26

### ФИЗИКА ЗАГАДКИ МАССЫ

Гордон Кейн

*Откуда у элементарных частиц берется масса и чем определяется ее количество? Ответы на эти вопросы позволят теоретикам расширить Стандартную модель физики элементарных частиц, которая описывает законы, управляющие Вселенной.*

34

### КЛИМАТОЛОГИЯ ПОХОРОНЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Роберт Соколов

*Захоронение двуокиси углерода в пористых горных породах позволит приостановить процессы глобального потепления.*

42

### ПАЛЕОНТОЛОГИЯ КАК СТАТЬ ГИГАНТОМ? ОПЫТ ДИНОЗАВРОВ

Джон Хорнер, Кевин Пэдиан, Арман де Рикле

*Мир динозавров был миром великанов, которые были намного крупнее любого из ныне живущих животных.*

50

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОННОЕ КРЕЩЕНИЕ ВОДОЙ

Гэри Стикс

*Своеобразное «крещение» микрочипов под тонкой пленкой воды позволяет уменьшить элементы интегральных схем до размеров биологических вирусов.*

54

### БИОТЕХНОЛОГИИ НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

Андрес Лосано, Сунейл Калиа

*Успехи, достигнутые в изучении этиологии паркинсонизма, вселяют надежду на прорыв в лечении этого страшного недуга.*

62

### АРХЕОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕВНИХ СООБЩЕСТВ

Тимоти Колер, Джордж Гаммерман, Роберт Рейнолдс

*Компьютерное моделирование помогает раскрыть археологические загадки юго-западных территорий Америки.*

70

### АРХЕОЛОГИЯ ДА БУДЕТ СВЕТ!

Денис Журавлев, Лоран Хршановский

*Первые осветительные приборы появились очень давно. Как выглядели первые лампы древности?*



Учредитель и издатель: **ЗАО «В мире науки»**

Главный редактор: С.П. Капица  
Заместитель главного редактора: В.Э. Катаева

Зав. отделами:  
фундаментальных исследований А.Ю. Мостинская  
естественных наук В.Д. Ардаматская

Редакторы: Ю.Г. Юшквичюте,  
А.А. Приходько

Спецкорреспондент: Д.В. Костикова

Ответственный секретарь: О.И. Стрельцова

Секретарь редакции: О.А. Флакова

Научные консультанты:  
академик Л.А. Бокерия, доктор физ.-мат. наук  
В.А. Ильин, кандидат физ.-мат. наук А.П. Крюков,  
академик Л.А. Пирюзян, В.И. Сидорова, кандидат физ.-  
мат. наук В.Г. Сурдин, профессор  
М.В. Конотопов, кандидат мед. наук Р.Г. Юсифов

Над номером работали:  
Е.В. Базанов, А.В. Банкрашков, Е.Г. Богадист,  
О.А. Василенко, А.В. Ващенко, Д.В. Журавлев,  
О.В. Закутняя, Ф.С. Капица, Б.А. Квасов, Д.В. Кислов, Ю.В.  
Кислова, Т.М. Колядин, Д.А. Константинов,  
Д.А. Мисюрлов, И.П. Потемкин, И.П. Прошкина,  
А.С. Росторгуев, И.Е. Сацевич, В.Г. Сурдин,  
К.Р. Тиванова, С.А. Титов, П.П. Худолей,  
Б.В. Чернышев, Н.Н. Шафрановская

Корректурa: Ю.Д. Староверова

Генеральный директор  
ЗАО «В мире науки»: С.А. Бадиков

Главный бухгалтер: Т.М. Братчикова  
Помощник бухгалтера: С.М. Амелина

Отдел распространения:  
С.М. Николаев, Л.В. Старшинова

Старший менеджер  
по связям с общественностью: А.А. Рогова

Менеджер по рекламе: В.П. Мостинская

Адрес редакции:  
105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409  
Телефон: (095) 727-35-30, тел./факс (095) 105-03-72  
e-mail: edit@sciam.ru; www.sciam.ru

Размещение рекламы: Рекламное агентство  
ООО «Видео Интернешнл-пресс ВИ»  
тел. (095) 956-33-00, факс 737-64-87  
адрес: 121522, Москва, ул. Оршанская, д. 3

Препресс: Up-studio

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.  
В верстке использованы шрифты **ParaType**  
AvantGardeGothic и Garamond

Отпечатано: ОАО «АСТ-Московский полиграфический  
дом»  
748-6733 Заказ №611

© В МИРЕ НАУКИ **РосНОУ, 2004**

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.  
Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

Тираж: 40 000 экземпляров  
Цена договорная.

Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного  
согласия редакции. При цитировании ссылка на журнал  
«В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет  
точку зрения авторов. Редакция 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,  
Graham P. Collins, Steve Mirsky,  
George Musser, Christine Soares

News Editor: Philip M. Yam

Contributing editors: Mark Fichetti,  
Marguerite Holloway, Philip E. Ross,  
Michael Shermer, Sarah Simpson, Carol Ezzell Webb

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: John Sargent

President and chief executive officer:  
Gretchen G. Teichgraber

Vice President and managing director,  
international: Dean Sanderson

Vice President: Frances Newburg

© 2004 by Scientific American, Inc.

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

## РАЗДЕЛЫ:

**3** **ОТ РЕДАКЦИИ**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ NASA**

**4** **50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД**

**6** **СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ**

- Космический юбилей
- Причины беби-бума
- Кремний против рака
- Революция на Citroën
- Покопаемся в мозге
- Премия нанотехнологам
- Спутники-малютки

**14** **ПРОФИЛЬ**  
**МУЗЫКА СЕРДЕЦ**

Ольга Закутняя  
*Академик Лео Антонович Бокерия, директор Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. Бакулева, родоначальник современной кардиохирургии.*

**86** **КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ**

**88** **ОЧЕВИДНОЕ—НЕВЕРОЯТНОЕ**  
**РУКОТВОРНЫЙ РАЗУМ**

Дмитрий Константинов  
*По материалам беседы с главой компании ABBYY Давидом Евгеньевичем Яном.*

**92** **ТЕХНИЧЕСКИЕ НЮАНСЫ**  
**СЕТЬ... СЕТЬ? СЕТЬ!**

Сергей Титов  
*Как работает система распределенных вычислений.*

## ОБЗОРЫ:

**95** **СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ**  
*Отчего болит голова?*



# перспективы NASA

Несмотря на то что в последние два года бюджет NASA вырос на 7%, запросы агентства растут еще быстрее. Во-первых, оно возобновило полеты космических шаттлов, прекратившиеся в 2003 г. после неудачи с *Columbia*. Во-вторых, агентство планирует продолжить монтаж Международной космической станции, на борту которой находится экипаж из двух человек, а сама станция обслуживается российскими космическими аппаратами. И в-третьих, президент США Джордж Буш распорядился, чтобы NASA занялось разработкой нового аппарата *Crew Exploration Vehicle (CEV)*, способного доставлять космонавтов на Луну и даже на Марс.

Нет ничего неожиданного в том, что агентство переключилось на разработку пилотируемых космических аппаратов, посягнув на бюджет беспилотных программ. В бюджете NASA на 2006 финансовый год предполагается сокращение средств на околоземные спутники и межпланетные зонды, что вызывает протест среди ученых. Конечно, исследователи стремятся спасти свои проекты, какова бы ни была реальная их ценность, и иногда NASA должно идти на жертвы, чтобы его ограниченные средства пошли именно на те полеты, которые с научной точки зрения наиболее ценны. Но то, что агентство рассматривает даже планы закрытия программы Вояджеров, которые вышли далеко за границы Солнечной системы,

свидетельствует о том, что приоритеты NASA всерьез выходят за рамки разумного.

Следует скорее сократить финансирование программ шаттлов и МКС. В течение следующих пяти лет NASA планирует запустить 25 шаттлов для доставки на орбиту строительных ферм, солнечных батарей, стыковочных узлов и лабораторных модулей, необходимых для завершения монтажа. Шаттлы и станция «съедают» 40% бюджета NASA, а до запланированного окончания эксплуатации (шаттлов – в 2010 г., станции – в 2017 г.) будет потрачено, по крайней мере, \$40 млрд. Что по сравнению с этим \$4,2-миллионный годовой бюджет Вояджеров?

Когда в 1998 г. началась сборка МКС, NASA оправдывало затраты, обращая внимание на потенциальные ее преимущества для исследования проводимости материалов и выращивания протеиновых кристаллов. Сегодня агентство официально заявляет, что медицинские исследования космонавтов на станции помогут NASA подготовить пилотируемую миссию к Марсу. Многие ученые считают, что нет ощутимых результатов, способных оправдать затраты на орбитальную лабораторию. А главным препятствием для космических путешествий к другим планетам остается угроза ионных бомбардировок в открытом космосе, которую нельзя исследовать на станции, защищенной магнитосферой Земли.



Discovery на стартовой площадке.

Сокращение бюджета шаттлов и МКС может привести к дипломатическим проблемам: Европейское и Японское космические агентства уже сконструировали дорогие лабораторные модули и подписали бартерное соглашение с NASA по обеспечению их доставки к станции. Однако его еще можно пересмотреть. Если NASA ограничит число полетов шаттлов к станции до шести или семи (что достаточно для завершения основного монтажа), то освободившиеся средства можно будет направить как на пилотируемые, так и на беспилотные исследования. NASA могло бы ускорить разработку CEV и новых большегрузных ракет, способных запускать как межпланетные аппараты, так и модули для космической станции. Исследование, проведенное в 2004 г. под патронажем Планетного общества, защищает именно такую стратегию. В апреле 2005 г. Майк Гриффин, один из лидеров этого исследования, возглавил NASA. ■

■ Ядерная сходка ■ Экзобиологический лепет ■ Холерные мухи

### ОКТАБРЬ 1955

**ЯДЕРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ.** Прошедшая в Женеве Международная конференция по мирному использованию атомной энергии собрала лучших ученых со всего мира. Настоящую сенсацию произвело выступление члена кабинета министров Индии доктора Хоми Бхабха, который выразил уверенность в том, что через 20 лет человечество научится использовать энергию управляемого синтеза тяжелых ядер водорода. Если предсказание индийского ученого сбудется, то у нас появится поистине неисчерпаемый источник энергии.

**СЛУЧАЙНАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ.** «На каком основании мы считаем случайным наследственный материал, продукт миллионов лет естественного отбора? Рассмотрим число  $\pi$  (3,14159265...), последовательность цифр которого является абсолютно случайной и не подчиняется какой бы то ни было закономерности. Представьте безумного математика, который в поисках «полезных чисел» перебирает случайные цифровые последовательности. Когда-нибудь он непременно наткнется на число  $\pi$  и экспериментально убедится в его полезности. Так и в живых организмах тысячелетия случайных мутаций приводят к возникновению последовательностей нуклеотидов, кодирующих новые полезные энзимы». – Джордж Гамов.

### ОКТАБРЬ 1905

**ЗЕМНАЯ ЖИЗНЬ.** Недавно почтенный доктор Уоллас, соавтор дарвиновской теории о происхождении видов, высказал мысль о том, что наша планета – единственное место во Вселенной, пригодное для жизни. Сейчас он уже очень стар и, подобно лорду Кельвину, склонен видеть в устройстве материального мира волю Провидения. Последнее выступление доктора Уолласа вызвало жаркие споры: одни считают, что ученый впал в старческий маразм, другие – что он наконец-то помнил.

### ОКТАБРЬ 1855

**МУХОЛЕРА.** Дж. Рейгерт, эсквайр из Ланкастера, штат Пенсильвания, приписывает распространение холеры



Опрокидывающаяся кровать – средство от лени, 1855 г.

маленьким ядовитым мушкам, а в качестве противоядия предлагает использовать известковую воду. Ланкастер стоит на известняках, и в нем еще ни разу не было зафиксировано более десяти случаев холеры, хотя местные жители часто бывали в Филадельфии и Балтиморе во время эпидемий в 1832 и 1852 г. Рейгерт считает, что холерные мушки роются в воздухе, но их невозможно отличить от частичек пыли. Люди заражаются, когда вдыхают их или проглатывают вместе с едой и питьем.

**ВОЕННЫЕ ФОТОГРАФИИ.** «Шотландский вестник» сообщает, что командир Ланкаширского полка британских ополченцев, многие из которых сбежали после получения первого же жалованья, придумал надежный способ поимки дезертиров. Теперь каждого новобранца снимают на дагерротипную пластину. Если рекрут вдруг решит сбежать, его дагерротип будет доставлен местным полицейским, которые без труда узнают и схватят беглеца.

**ГРОЗА ЛЕЖЕБОК.** На иллюстрации изображена новая кровать, конструкция которой была недавно запатентована. Если человек игнорирует звон будильника и продолжает спать, срабатывает специальный механизм, ложе опрокидывается, и незадачливый соня падает на пол. Лентяи, берегитесь! ■



## ФРАНЦУЗСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Автомобильная марка *Citroën* сумела внедрить в свои модели разных лет внушительное количество инновационных разработок. Среди них – передний привод, гидропневматическая подвеска, адаптивные фары, система контроля курсовой устойчивости. Сегодня известная своими экстравагантным дизайном и передовыми техническими решениями французская марка продолжает удивлять автомобильных экспертов. Этим летом международная пресса была проинформирована о новом концептуальном решении, внедрение которого в серийное производство концерн *Peugeot-Citroën* планирует через 10 лет.

У автомобиля-концепта *Citroën C5 by Wire* педалей нет вообще, а ставшую привычной за многие десятилетия «баранку» заменяет конструкция, напоминающая штурвалы военных или пассажирских самолетов. Стоит отметить, что уже несколько лет рулевое колесо на автомобилях «серьезных» марок стало многофункциональным. Расположенные

на нем регуляторы и кнопки позволяют водителю концентрировать внимание на дороге и не отвлекаться при настройке приемника, телефонном общении и даже переключении передач. В то же время штурвал как дизайн-решение уже применялся в концепт-карах разных производителей как одно из наглядных отличий от серийных моделей. Но никогда он еще не был столь функционален, как на *Citroën C5 by Wire*.

Замок зажигания находится между передними креслами, справа от «ручника». Рычаг автоматической коробки передач (он на обычном месте) необходимо перевести в положение *D*. Затем, чтобы автомобиль тронулся с места и разогнался, нужно не давить педаль в пол, а большим пальцем правой или левой руки нажимать на одну из пластин на лицевой части штурвала. Они выделены светлым и симметричны звуковому сигналу. Для того чтобы затормозить, нужно потянуть на себя один из «лепестков» на внутренней стороне штурвала,

и, кстати, такое движение «на себя» более логично для осмысления начинающим водителем. Поворачивать автомобиль можно, покачивая «рога» вправо-влево, а для поворота колес из одного крайнего положения в другое достаточно 1/3 оборота штурвала. Сигналы поворота, освещения и управления стеклоочистителями также располагаются на «рогах» штурвала. Рулевое управление, торможение и ускорение нового французского концепта с непривычки кажутся особенно острыми и чуткими. Это характерное отличие электронного управления от систем с механическим приводом и гидравлическим усилением.

Новая система управления, освобождающая больше пространства в передней части салона, не только позволяет сократить длину автомобиля в среднем на 15 см, но и уменьшает риск травматического воздействия педалей на водителя при лобовом столкновении.

Дмитрий Константинов  
[www.citroen.com](http://www.citroen.com)

## В ГЛУБИНЫ МОЗГА ЛАЗЕРОМ

Спугнуть муху, не размахивая руками, поможет лазер. Стоит лишь ввести в нервную систему мухи светоактивируемое вещество, как это сделали Сюзана Лима (*Susana Lima*) и Джеро Мизезенбок (*Gero Misesenböck*) из Йельского университета. Исследователи модифицировали плодовых мушек таким образом, чтобы их нейроны производили особый белок, который после активации аденозинтри-

фосфатом (АТФ) начинает проводить электрические сигналы. Затем они разработали своеобразную химическую «ловушку» для молекул АТФ, которая разрушается под воздействием ультрафиолетового лазерного излучения. Ученые воспользовались рефлексом мухи «улетай!», который запускается центральным нервом насекомого, даже если у него удалена голова. Ослепленные или обезглавленные мухи, облучаемые

лазером, убегали или взлетали. Воздействуя на генетический аппарат мушки и активируя различные области мозга, исследователи заставляли сонных мух летать быстрее. Ученые отмечают, что при изучении мозга описанная лазерная методика позволяет добиться более точных результатов, чем при введении электродов.

Дж. Р. Минкель



## Что победит ГИПЕРТонию?

Бороться с повышенным артериальным давлением можно с помощью грудного молока. Так считают исследователи из новосибирского Института физиологии СО РАН, Института цитологии и генетики СО РАН и Новосибирской государственной медицинской академии.

Как правило, гипертония проявляется при созревании организма, но генетические дефекты, способствующие этому, проявляются еще в детском возрасте. Кроме того, развитие гипертонии во многом зависит от гормонального фона, а большинство гормонов младенец получает с молоком матери.

Известно, что у взрослых крыс с наследственной индуцированной стрессом артериальной гипертензии

(НИСАГ) артериальное давление составляет 170 мм рт. ст., что связано с повышенным уровнем гормонов щитовидной железы, в то время как у обычных крыс – 118 мм рт. ст.

Новосибирские физиологи провели ряд опытов. Они разделили потомство крыс по линии НИСАГ: почти месяц часть детенышей вскармливала их родные матери, а остальных – приемные, чье давление было в норме. По достижении взрослого возраста (6 месяцев) опытную группу проверили по всем показателям: измеряли артериальное давление, снимали ЭКГ, определяли уровень гормонов в крови. Результаты показали, что артериальное давление грызунов НИСАГ, вскормленных донорами, было ниже, чем у потомственных



гипертоников, и находилось на границе нормы и гипертонии. Дальнейшие исследования помогут понять, какие именно факторы вызывают развитие гипертонии и как внешние условия могут изменить генетическую предрасположенность. Если предположения исследователей подтвердятся, то дети гипертоников смогут с раннего детства получать корректирующую терапию.

Карина Тиванова

## Кремний и ТЕРАПИЯ РАКА

Лаборатория твердотельных наноструктур МГУ использует наноструктуры в ФДТ.

В лаборатории твердотельных наноструктур МГУ (кафедра общей физики и молекулярной электроники физического факультета) предложено использовать наночастицы кремния в фотодинамической терапии рака (ФДТ). При освещении пораженного участка тела лазерным излучением с длиной волны, соответствующей пику поглощения фотосенсибилизатора, чувствительного к свету, в пораженном органе создается очаг химически активного кислоро-

да, разрушающего опухоль. Однако фотосенсибилизаторы достаточно ядовиты и разносятся кровью по всему телу. Поэтому до тех пор, пока они не выведутся из организма, пациент должен находиться в темноте, чтобы исключить образование активного кислорода в других тканях.

Чтобы избежать побочных эффектов, руководитель исследовательской группы П.К. Кашкаров предлагает использовать наночастицы кремния ФДТ. Во-первых, кремний биологически совместим с живыми организмами, а во-вторых, отработав в организме на создании активного кислорода, он превращается в обычный песок и легко выводится из организма. Опыты, проведенные на базе Центра коллективного пользования МГУ, это наглядно подтвердили.

Ирина Прошкина

### НЕРАЗБРЫЗГИВАЮЩАЯСЯ ЖИДКОСТЬ

Если хотите получить хороший всплеск, вам не обойтись без давления, например атмосферного. Обычно, когда капля падает на гладкую поверхность, образуется лужица с волнистой поверхностью, которая разрывается на множество брызг. Физики из Чикагского университета капали спирт в вакуумной камере на гладкую сухую стеклянную пластину и записывали происходящее на пленку с помощью камеры, снимающей 47 тыс. кадров в секунду. Когда давление в камере стало примерно в 6 раз меньше атмосферного, капли перестали разбрызгиваться и стали просто растекаться по поверхности. Исследователи полагают, что падающие капли разбрызгиваются, потому что давящий на них газ дестабилизирует процесс растекания. Полученные результаты помогут управлять разбрызгиванием топлива в камерах сгорания и краски в струйных принтерах.

Чарльз Чой

# ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ бум

После Второй мировой войны в Европе и Америке произошел неожиданный всплеск рождаемости.

На протяжении 100 лет рождаемость в западных странах неуклонно снижалась, и после Второй мировой войны специалисты прогнозировали лишь незначительное повышение ее уровня. Вместо этого произошел настоящий демографический бум, объяснения которому социологи не могут дать до сих пор.

Среди специалистов широкое признание получила теория, предложенная экономистом Ричардом

Истерлином (Richard Easterlin) из Южнокалифорнийского университета. По его мнению, подъем экономики, ограничение иммиграции в середине 20-х гг. XX в. и низкий уровень безработицы, обусловленный низкой рождаемостью и, соответственно, нехваткой трудоспособного населения, привели к тому, что молодое послевоенное поколение было обеспечено хорошей и перспективной работой и имело больше шансов преуспеть, чем их родители. Все эти факторы способствовали заключению ранних браков и росту рождаемости.

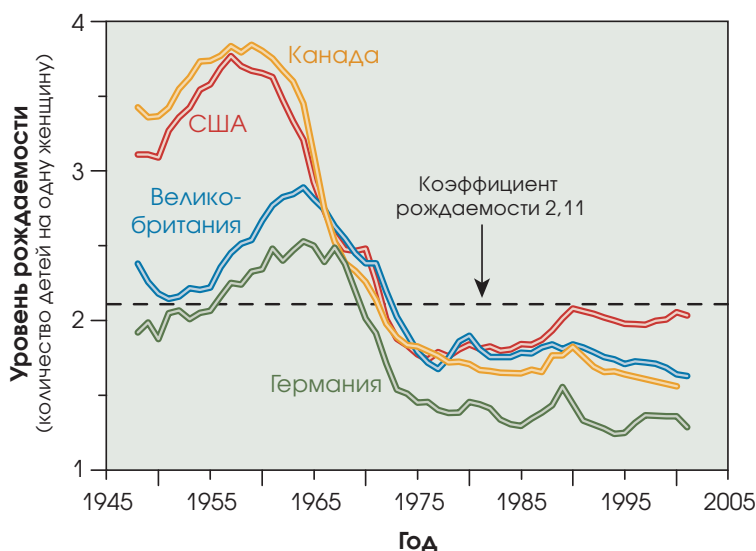
Но данная теория в большей степени касается государств, проводивших целенаправленную политику социальной поддержки населения, таких как США и Канада. Однако те же выводы лишь на 1/3 применимы к странам Западной Европы и не объясняют причин произошедшего там демографического взрыва.

Алан Свизи (Alan Sweezy), экономист из Калифорнийского технологического университета, не оспаривая выводов Истерлина, считает, что одним из факторов, повлиявших на рост рождаемости, стало изменение общественного мнения в вопросе о необходимом количестве малышей в семье. Согласно социологическим данным, только 26% женщин 1909 года рождения имели трех и более детей, в то время как среди тех, что появились на свет в 1933 г., таких 65%.

Социолог Норман Райдер (Norman Ryder) из Принстонского университета утверждает, что в 20-х гг. большинство американских семей хотели бы ограничиться двумя детьми, но низкое качество противозачаточных средств не позволяло им этого. В середине 50-х гг. 42% матерей, имеющих двух детей с разницей в пять лет, в качестве противозачаточных использовали механические и физиологические средства защиты. (Появившиеся в 60-х гг. противозачаточные таблетки были доступны лишь 6% женщин.) К таким же контрацептивам прибегали и в 30-х гг., но по экономическим причинам не могли позволить себе содержать многочисленное потомство. В послевоенный период было много ранних браков, и риск неплановой беременности был достаточно высок.

Стечение обстоятельств, характерное для 1945–1965 гг., вряд ли повторится. Последние 30 лет значение коэффициента рождаемости (т.е. сумма возрастных коэффициентов рождаемости, считающаяся информационной характеристикой ее интенсивности) не превышает двух единиц. И в ближайшее время улучшение ситуации в развитых странах не предвидится.

Роджер Доил



#### Источники:

Ежегодник по демографии ООН, Национальный центр статистики здравоохранения.

Данные, приведенные за период 1948–1989 гг., больше относятся к ФРГ, чем к объединенной Германии. Данные за 1948–1981 гг. указывают на ситуацию, сложившуюся в Англии и Уэльсе.

# ракеты НА ГРАЖДАНСКОЙ СЛУЖБЕ

В основу конверсионного использования ракетных двигателей легли разработки ученых НИИЭМ и МГТУ им. Н.Э.Баумана. Созданы струйно-абсорбционные системы очистки газов дыхания резервуарных парков, сливно-наливных эстакад и терминалов, вакуумные гидроциркуляционные агрегаты, струйно-компрессорные установки для сжижения низконапорных (в том числе факельных) газов любого состава. Разработана и внедряется технология увеличения интенсивности нефтеотдачи обводнившихся скважин, базирующаяся на опыте создания реактивных двигателей специального класса, при этом обеспечивается повышение нефтеотдачи скважины на 15–20%.

Востребованы образцы оригинального оборудования для сверхзвукового напыления высокока-

чественных покрытий. Созданы установки по термогазоструйной обработке (очистке) и резке различных материалов, включая высоколегированные стали, цветные металлы и сплавы, бетоны и железобетоны, что нашло применение в восстановлении и утилизации различных объектов. Заслуживают внимания установки для газопроводов, городских газораспределительных станций, для осушки природного газа в магистральных газопроводах. Эти и другие примеры были приведены в докладе коллектива ученых (А.В. Воронцовский, С.Ф. Максимов, В.И. Новиков, В.Г. Цегельский) на майском международном симпозиуме «Образование через науку», посвященном 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Дмитрий Мисюров

## СОБЫТИЯ В ОКТЯБРЕ:

### октябрь 2005

Всероссийская конференция «Городской социум в России и на Западе: от прошлого к настоящему».

СГУ, Саратов

### 3–6.10. 2005

Международная конференция «Оптика биологических частиц».

Новосибирск

### 6.10. 2005


III Научно-практическая конференция «Инфекционные болезни и антимикробные средства».

Москва

### 18–20.10. 2005

Всероссийская дистанционная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники».

Москва



## НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



**Ф. Мэттьюз, Р. Ролингс** *Композитные материалы. Механика и технологии*  
*Первая монография по всему спектру композиционных материалов на русском языке. Рассмотрены особенности механического поведения и технология получения композиционных материалов на основе керамических, полимерных и металлических матриц. Анализируются композиты, усиленные непрерывными и короткими волокнами, а также наполненные композиты. Большое внимание уделяется рассмотрению механизмов разрушения, влияния окружающей среды и усталостному поведению композитов.*  
*Книга представляет большой интерес для научных и инженерно-технических работников, аспирантов университетов, интересующихся вопросами механического поведения композиционных материалов, специалистов по материаловедению.*



**Ч. Пул, Ф. Оуэнс** *Нанотехнологии 2-е дополненное издание*  
*Первое руководство на русском языке, описывающее структуру и свойства наноматериалов от твердотельных до биологических объектов. Исчерпывающе изложены технологии изготовления и методы исследования наноструктур, разнообразные применения от оптоэлектроники до катализа и биотехнологий.*  
*Второе издание дополнено материалами по методическим аспектам "индустрии наносистем" и применениям нанотрубок в электронике.*  
*Учебник-монография адресован широкому кругу научных работников, инженеров-электронщиков, специалистов в областях химических и биотехнологий.*

Принимаются заявки на книги с доставкой по России наложенным платежом или с предоплатой по счету.  
 По почте: 125319 Москва, а/я 594, издательство "Техносфера" По факсу: (095) 9563346 E-mail: knigi@technosphera.ru  
 Полная информация о всех вышедших и готовящихся к печати книгах находится на сайте [www.technosphera.ru](http://www.technosphera.ru)

## Вечная мерзлота под угрозой

В конце XIX в. среднегодовые температуры были на 1,0–3,5°C ниже, чем в конце XX в.

В связи с прогнозами глобального потепления климата российские геокриологи проявляют озабоченность состоянием вечной мерзлоты, занимающей более половины территории России. Мария Кузьминична Гаврилова (главный научный сотрудник, доктор географических наук, профессор) из Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (г. Якутск) проанализировала данные более 80 метеорологических станций, отражающие вековой ход температуры воздуха в области многолетнего

промерзания горных пород по всему Евразийскому континенту (Арктика, Субарктика, Западная, Восточная и Южная Сибирь, Дальний Восток России, Монголия, Япония, Китай, включая Тибет). Выяснилось, что по всем исследуемым регионам XX в. был теплее XIX. В 80–90-х гг. позапрошлого века (начало индустриализации) средние годовые температуры воздуха, свидетельствующие о наличии мерзлоты и ее характере, были на 1,0–3,5°C ниже, чем в конце прошлого. В XX столетии наибольшее потепление произошло в континентальных районах Восточной Якутии, Монголии и Китае, наименьшее – в западном секторе российской Арктики и на Дальнем Востоке. В Евразии отмечается значительный тренд потепления для зимних месяцев и умеренный – для летних. Зимой, при малом приходе солнечной радиации, определяющим фактором

потепления стала циркуляция атмосферы. Летом, при повышенной солнечной радиации, ее четкой географической зональности и устойчивости, циркуляционные последствия нивелируются. В Южной Сибири (Иркутская область), в западной, северной, центральной Монголии и в Китае (регионах со слабой островной мерзлотой) годовые температуры с 60–70-х гг. прошлого века перешли от отрицательных к положительным. В районах, где отмечено наибольшее повышение среднегодовой температуры воздуха, верхние горизонты вечной мерзлоты переходят в неустойчивое состояние. Это сопровождается термокарстовыми просадками дневной поверхности и другими процессами, негативно влияющими на устойчивость зданий, сооружений и площадей сельскохозяйственного освоения.

Дмитрий Мисюров

## какая струя лучше?

На проблему очистки сточных вод с помощью струйной аэрации обратили внимание исследователи Б.С. Ксенофонтов и Д.В. Дьяченко из МГТУ им. Н.Э. Баумана. При изучении аэрации воды струями было установлено, что эжектирующая способность зависит от скорости струй, угла падения, их формы и длины. На расход увлекаемого струей воздуха оказывают влияние диаметр и геометрия сопел. Установлено, что существует оптимальное расстояние от сопла до поверхности аэрируемой жидкости, при котором наблюдается максимальная величина эжекции.

Особое значение имеет угол падения струи. Например, вертикально падающая струя круглого сечения обладает невысокой эжектирующей способностью. В случае использования круглых струй площадь их контакта между газом и жидкостью минимальна. Большие площади соприкосновения между жидкостью и газом и, соответственно, степень эжекции могут достигаться при использовании эллипсоидальных, плоских, кольцевых и струй с максимально развитой поверхностью. Выяснилось, что эжектирующая способность плоских струй в 2–3 раза

выше по сравнению с круглыми струями. При этом угол падения плоской струи для получения наибольшего значения эжектирующей способности должен быть в пределах 30–45°. По мнению ученых, результаты проведенных исследований могут быть использованы как при модернизации разработанных ранее флотационных машин и аппаратов, так и при создании новых флотационных колонн для очистки производственных сточных вод от гидрофобных загрязнений, например, масел, жиров, нефтепродуктов и т.п.

Дмитрий Михайлов

# ЧЕРЕЗ ТЕРНИИ **к звездам**

В начале октября Институту космических исследований РАН (ИКИ РАН) исполняется 40 лет. Если быть абсолютно точным, то Постановление Совета Министров СССР о создании института датировано 15 мая 1965 г. Но празднование юбилея приурочено к 4 октября, так как именно в этот день в 1957 г. началась новая эпоха космических исследований: был запущен первый искусственный спутник Земли.

ИКИ РАН был создан как головной академический институт по исследованию и использованию космического пространства. Первые десятилетия прошлого века были для нашей космической науки в прямом смысле слова звездными. Однако «смутные времена» начала 90-х гг. нанесли российским космическим исследованиям изрядный ущерб. В частности, резкое сокращение средств, выделяемых из бюджета на науку, привело к тому, что в последние 10–15 лет практически прекратились запуски новых летательных аппаратов – а между тем именно они являются основными инструментами астрономов.

Сейчас на орбите находится только российско-украинская солнеч-

ная обсерватория «КОРОНАС-Ф», запущенная в 2001 г., а также учебный спутник «Университетский–Татьяна» МГУ им. М.В. Ломоносова.

Возможность работать российские исследователи получили благодаря участию во многих международных проектах космических агентств США, Европы и других стран. В частности, наши ученые получили право на 25% наблюдательного времени Европейской космической обсерватории «ИНТЕГРАЛ» благодаря тому, что на орбиту ее вывела российская ракета-носитель «ПРОТОН». За время работы были получены многие интересные результаты, открыты новые источники высокоэнергетического излучения, кроме того, на основе данных глубокого наблюдения за полем галактического центра была составлена первая карта данного района в жестких рентгеновских лучах. Нынешней осенью будут подведены итоги второго года работы обсерватории.

Между тем российская звездная отрасль понемногу оживает, благо за последние пять лет намечился некоторый сдвиг в финансировании



Большая антенна управления спутниками в Тарусе

научных исследований. Готовятся новые проекты, как совместно с зарубежными партнерами, так и собственные. Некоторые из них вошли в принятую недавно Федеральную космическую программу на 2006–2010 гг. Так, в настоящее время ученые ИКИ готовят собственные астрофизические проекты (в частности, радиоинтерферометра «Спектр-Радиоастрон», предназначенного для наблюдений за космическими телами большой протяженности, а также обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» для наблюдений Вселенной в рентгеновском и гамма-диапазонах).

К настоящему времени в структуре научной деятельности Института оформилось несколько ведущих направлений, в частности, астрофизики высоких энергий и радиоастрономии, солнечно-земной физики, физики космической плазмы, планет и малых тел Солнечной системы, дистанционного зондирования Земли из космоса и исследования природных ресурсов и т.д.

Разумеется, невозможно в одном материале детально рассказать обо всех разработках, которые проводятся в Институте космических исследований. В следующих номерах нашего журнала мы еще не раз вернемся к этим темам и расскажем о них более подробно.

Ольга Закутняя



# Награда молодым нанотехнологам

В Москве состоялось награждение победителей II Всероссийского конкурса молодежных проектов в области нанотехнологий.



Организатор конкурса – ведущее информационно-аналитическое агентство в области нанотехнологий *Nanotechnology News Network* – поощряет ценными призами достижения молодых ученых из России и СНГ. Показательны темы первых десяти проектов-победителей:

Победитель, занявший **I МЕСТО**, кандидат геолого-минералогических наук Дмитрий Камашев из Республики Коми, проект «Получение высокоорганизованных наноматриц кремнезема».

Дмитрий Камашев рассказал корреспонденту «В мире науки» о сути проекта. Основной задачей было создание упорядоченных матриц кремнезема с диаметром сфер порядка от 150 до 850 нанометров, с различным типом упаковки этих сфер в структуру. Области применения могут быть самыми разнообразными и зависят от методов пропитки данной матрицы, от способов упаковки, размеров и пористости. Изменяя эти параметры, можно создавать целый спектр самых разнообразных по требованиям материалов. Например, популярным стало получение синтетических аналогов благородного опала как ювелирного сырья, но сейчас акценты сместились к нанотехнологиям.

Организаторы конкурса надеются, что результаты победившего проекта станут основой нового поколения отечественных электронных и оптических продуктов и найдут применение в других сферах.

**II МЕСТО** завоевали студенты Московского института стали и сплавов (МИСИС) Гор Лебедев, Дмитрий Захаров и Юлия Быкова с проектом «Микроактюаторы на основе композитов из наноструктурированных сплавов».

**III МЕСТО** занял проект молодых ученых из ЛЭТИ Владимира Марголина и Валентина Фантикова «Получение и исследование наноразмерных пленок с фрактальной структурой».

**IV МЕСТО** – «Миниатюрные атомные часы на основе эффекта когерентного пленения населенностей» (Сергей Каргапольцев, Надежда Котова и Петр Емельянов, под руководством Владимира Величанского).

**V МЕСТО** – проект «Наноструктурированные самоорганизующиеся пленки полиэлектролитов и белков для создания высокочувствительных биосенсорных систем» (Лидия Соколовская, Евгений Евтушенко и Галина Дубачева). Как пояснили корреспонденту «В мире науки» авторы, их лаборатория

химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова специализируется на создании биосенсоров – аналитических приборов, позволяющих анализировать целый спектр важных веществ, например, фосфоорганики, которые используются в качестве химического оружия. Биосенсоры анализируют пестициды, различные ферменты и т.д. Исследование начинается с уровня молекул, нуклеиновых кислот и выше – целых клеток и их частей. В лаборатории созданы приборы, которые применяются для анализа фенолов, токсичных веществ, используемых, например, в деревообрабатывающей промышленности. Некоторые приборы применяются в медицине, для экспресс-диагностики, определения общего состояния организма. Разработки также могут использоваться при уничтожении боевых отравляющих веществ, в экологических целях.

**VI МЕСТО** – «Исследование модифицирования рельефа в результате инженерии поверхности материалов или эксплуатации при различных температурах и давлениях. Влияние методики измерений на получаемые результаты» (Наиль Сабирзянов и Ольга Зилова, под руководством Сергея Нестерова).

**VII МЕСТО** – у проекта Алексея и Наталии Каманиных «Исследование фуллереносодержащих наноструктурированных жидких кристаллов как эффективных матриц для визуализации и ориентирования клеток крови человека».

**VIII МЕСТО** – проект «Фрактальный подход к анализу структуры носителей при формировании биосенсоров для обнаружения бактерий в чрезвычайных (экстремальных) ситуациях» (Наталия Снегирева, Юлия Карнет, Людмила Погорелова, Алексей Яровицын, Андрей Копылов).

**IX МЕСТО** – «Разработка алгоритмов и проблемного программного обеспечения для проектирования нанороботов» (Григорий Черноморов, Вадим Кухарев из ЮРГТУ).

**X МЕСТО** – «Автономный робот с искусственным интеллектом на базе нейросетей» (студенты МЭИ Артем Фальков, Сергей Лещина и Дмитрий Негров).

Приз за I место – мобильная нанотехнологическая лаборатория «УМКА», уникальная российская разработка 2004 г. Она умещается в кейсе и работает в комнатных условиях, причем экспериментом можно управлять с обычного компьютера. Остальным победителям вручались современные ноутбуки, ремонтно-восстановительный комплект для автомобилей на основе наночастиц, годовая подписка на ежемесячный CD-ROM «Мир нанотехнологий». Руководители команд получили книгу Марии Рыбалкиной «Нанотехнологии для всех». Также лауреатам выдали годовую подписку на научно-популярные журналы «В мире науки», «Наука и жизнь», «Универсум». Все это, по замыслу организаторов, должно способствовать гармоничному развитию молодых нанотехнологов в России.

Награды вручил Александр Оликевич, генеральный директор компании *Nanotechnology News Network*, президент Молодежного научного общества. Он поздравил победителей и поблагодарил пока немногочисленных, но ценных спонсоров конкурса (КБ «Юниаструм Банк», Компания *POWERCOM*, Концерн «Наноиндустрия» и др.).

У молодежного наноконкурса грандиозные планы и бесконечная вера в способности молодых, чего часто не хватает российской науке.

Михаил Дмитриев

## Промышленность На ВВЦ

В конце августа – начале сентября в Москве на территории ВВЦ правительством Москвы совместно с правительством Московской области и при поддержке Российского союза товаропроизводителей была проведена XI Московская промышленная выставка-ярмарка, приуроченная к празднованию Дня города.

Выставка была направлена на продвижение отечественных промышленных товаров, продукции и технологий на российском рынке, расширение торгово-экономических связей и кооперации между регионами и столицей. Основными тематическими разделами выставки были: городской заказ Москвы, наука и образование, промышленность и транспорт, информационные технологии и связь, строительство и жилищно-коммунальное хозяйство, энергетика, оборудование и приборы, инновационные технологии.

В рамках выставки прошли конференции и круглые столы, на ко-



### XI МОСКОВСКАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА - ЯРМАРКА

торых обсуждались такие проблемы, как защита прав потребителей, борьба с контрафактной и фальсифицированной продукцией, инвестиции банков в промышленность и высокие технологии, защита интеллектуальной собственности.

Лучшие предприятия получили возможность представлять Москву на крупнейших международных и региональных выставках. Победители были награждены сертификатами и почетными дипломами, медалями и Гран-при выставки.

Олег Чаплин

## МИНИАТЮРНЫЕ спутники

Российский НИИ космического приборостроения и Ракетно-космическая корпорация «Энергия» осуществляют совместную программу разработки космических технологий на наноспутниках с использованием Международной космической станции (МКС). Первым образцом спутниковой платформы нанокласса стал ТСН-0 (масса менее 5 кг, диаметр 170 мм, длина основной части 250 мм), доставленный на МКС в марте 2005 г. для вывода космонавтами на орбиту «ручным» способом и проведения испытаний.

Управление наноспутником с миниатюрными бортовыми приборами будет осуществляться при помощи спутниковой системы связи *GlobalStar*, телефонной сети МГТС и сотовой связи. В дальнейшем планируется провести серию экспериментов со сменными научными нагрузками платформы ТСН-0 с использованием бортовых приборов для геофизических измерений, коммуникации и дистанционного зондирования Земли.

Дмитрий Мисюров

# Музыка сердец

**А**кадемик Лео Бокерия, директор Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева, работает кардиохирургом почти сорок лет. Свой путь в медицине он начинал во второй половине XX в. – как раз тогда, когда стали возможны операции на открытом сердце.

Лео Антонович Бокерия родился 22 декабря 1939 г. в городе Очамчира Абхазской автономной республики СССР. Окончил школу с серебряной медалью, после чего решил поступить в медицинский институт, который в том же году окончила его старшая сестра. Но с первого раза это не удалось, и будущий ученый осуществил свою мечту лишь через два года.



В I Московском медицинском институте (ныне Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова) Лео Бокерия учился девять лет: шесть лет был студентом и три года – аспирантом (научный руководитель – академик Владимир Васильевич Кованов). Кардиохирургом Лео Антонович работает с 1968 г., и вся его жизнь неразрывно связана с Научным центром сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева, основанным в 1956 г. как Институт грудной хирургии, с 1961 г. – Институт сердечно-сосудистой хирургии, а с 1993 г. – Научный центр.

В 1976 г. Л.А. Бокерия совместно с В.И. Бураковским, бывшим тогда директором института, и В.А. Бухариным получили Ленинскую премию за разработку и внедрение в клиническую практику метода гипербарической оксигенации – одного из способов защиты организма пациента от кислородного голодания во время операции. Он заключается в том, что в барооперационной повышают давление воздуха до 2–2,5 избыточных атмосфер. Пациент при этом дышит кислородом, и парциальное давление  $O_2$  в крови превышает 2000 мм рт. ст. (в норме – 100 мм рт. ст.).

У нового метода, несмотря на его большую эффективность, оказался один существенный недостаток, ограничивший возможности его применения. «Оперированный врач работает в состоянии кессона, и поэтому после операции ему необходимо прой-



ти декомпрессию, на что требуется время. А значит, хирург может проводить ограниченное число операций в день, – рассказывает Лео Антонович. – Но с научной точки зрения это было существенным достижением».

После завершения работы над гипербарической оксигенацией Владимир Иванович Бураковский предложил своему ученику выбрать новую тему.

Лео Антонович решил заняться лечением аритмий (нарушений нормального сердечного ритма) – темой, до тех пор почти не исследованной. Для этого пришлось вплотную изучить электрофизиологию сердца. «Смешно сказать, но когда я стал читать литературу по теме, то мне приходилось по нескольку раз перечитывать статью, чтобы понять, о чем идет речь», – рассказывает Лео Бокерия, и в его глазах вспыхивают озорные огоньки. Он побывал в клинике Университета Дюка (США), где уже был минимальный опыт лечения аритмий, рабо-

В.И. Бураковский сказал: «Знаешь, никто не ожидал, что вы так рванете вперед, и теперь уже ни у кого нет желания с вами соревноваться».

Сейчас специалисты центра провели уже 19 тысяч операций по устранению аритмий. Этой темой занимаются три подразделения: отделение тахиаритмий, отделение неинвазивной аритмологии и лаборатория электрофизиологии.

«Сегодня клиническая медицина располагает большим спектром неинвазивных методов исследования и лечения, – рассказывает Лео Антонович. – Для того чтобы определить, где находится источник аритмии (ненормально сокращающийся участок сердца), часто не требуется вводить пациенту катетер. Мы надеваем на него жакет с 256 электродами. Компьютер записывает и расшифровывает распространение возбуждения по сердцу. Есть еще несколько показателей неинвазивного характера: понятие «задержанного потенциала», т.е. наличие в сердце места, которое

## Абсолютное большинство врожденных пороков сердца, замена клапанов, некоторые виды аритмий требуют только хирургического вмешательства.

тал с создателями аппаратуры для их диагностики и лечения. Затем, вернувшись в СССР, он с Амираном Шотаевичем Ревшвили, тогда его аспирантом, и В.Г. Авалиани (инженером центра) создали оригинальный аппарат для диагностики аритмий.

В 1986 г. Л.А. Бокерия и А.Ш. Ревшвили совместно с Ю.Ю. Бредикисом и Ф.Ф. Букаускасом были награждены Государственной премией СССР за разработку методов диагностики и хирургического лечения тахиаритмий. За несколько лет было проведено более двух тысяч операций. И тогда учитель Лео Бокерии

не сокращается, а также данные по динамике пульса, т.н. вариабельность ритма – один из важнейших факторов благоприятного или неблагоприятного исхода после любого вида лечения».

Кроме того, развивается малоинвазивная хирургия, когда с помощью катетеров можно устранить, например, мерцательную аритмию без сопутствующей патологии сердца. Обычно она осложняет лечение запущенных случаев клапанной патологии.

«Конечно, маловероятно, чтобы в обозримом будущем можно было локализовать точку, где находится

**Лео Антонович Бокерия** – Академик, член Президиума РАМН, главный кардиохирург РФ, генеральный директор НЦССХ им. А.Н. Бакулева и директор НИИ кардиохирургии им. В.И. Бураковского, Лауреат Ленинской (1976) и Государственных премий СССР (1986) и РФ (2002), международной премии «Золотой Гиппократ» (2003), премии «Триумф» (2004), Кавалер ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2004) и лауреат награды «Гражданская доблесть» (2004), действительный член Американской ассоциации торакальных хирургов, почетный член Американского Колледжа хирургов.

источник аритмии, и устранить его совершенно без хирургического вмешательства. Но объемы хирургической помощи, без сомнения, уменьшаются. Ранее в структуре сердечно-сосудистой хирургии коронарная хирургия занимала в среднем 70%, а сейчас довольно значительную часть таких больных лечат с помощью катетеров. Однако большинство осложненных форм инфаркта миокарда, когда у больного возникает дефект межжелудочковой перегородки, разрыв или деформация митрального клапана, а также врожденные пороки сердца, замена клапанов, некоторые виды аритмий, по-прежнему требуют хирургического вмешательства».

В 1994 г. Лео Антонович принял руководство Институтом сердечно-сосудистой хирургии, который к тому времени был реорганизован в научный центр с двумя институтами в его составе: Институтом кардиохирургии им. В.И. Бураковского и Институтом коронарной патологии и сосудистой хирургии. ▶

## Академика Бокерия можно назвать ровесником и создателем современной кардиохирургии.

Новое здание Института кардиохирургии, где сейчас находится кабинет Лео Антоновича, как государство в государстве. Здесь есть практически все, что создала научная мысль: диагностические центры, операционные, лаборатории, центр телемедицины, а также образовательный центр, аспирантура и ординатура, центр ядерной медицины, циклотрон, где получают радиоизотопы для позитронно-эмиссионного томографа.

В НЦССХ ежегодно проводится более 6,5 тыс. операций – около 35% от общего числа сердечно-сосудистых операций, выполненных в России. Сейчас в стране работает около 72 кардиохирургических центров, но этого недостаточно: в идеале на один миллион населения должна приходиться одна клиника или медицинский центр, где можно проводить не менее 1000 операций на открытом сердце.

Впрочем, все сердечные проблемы огромной страны не под силу решить даже всем кардиохирургам мира. Именно поэтому Лео Антонович стал одним из инициаторов создания Лиги здоровья нации – организации, которая ставит своей целью обратить внимание жителей на собственное здоровье.

Врач, руководитель, общественный деятель... Кажется странным, что один человек может делать одновременно столько дел. Разве что за счет личного времени, которое он все равно отдает кардиохирургии – главному делу своей жизни...

Наверное, поэтому Бакулевка похожа не только на больницу, но еще и на большой уютный дом со своим хозяином, который здесь не только работает (он успевает проводить иногда по пять операций в день), преподает и консультирует больных, но и практически живет: приезжает в полвосьмого утра и редко уезжает раньше десяти вечера.

Есть у Лео Антоновича и другой дом – большая семья, все члены которой посвятили себя медицине. Жена Ольга Александровна, с которой Лео Антонович познакомился еще в институте, – врач-терапевт. Две дочери: старшая, Екатерина, работает в 67-й городской больнице, младшая, Ольга, как и ее отец, – кардиохирург. Также у Лео Антоновича есть два зятя и внуки: девятилетний Антон, полуторагодовалые София и Лео и крошечная (майская) Лиза.

Дом ученого часто наполняется звуками музыки, которую он любит с детства. Пристрастия меняются в зависимости от возраста и от ситуации. Если он работает над чем-то, что не требует большой концентрации внимания, то любит слушать классику – Баха, Вагнера, Грига. А когда встает рано утром на работу, то сразу же включает радио... «А вообще в нашей жизни без музыки невозможно», – улыбаясь говорит маэстро наших сердец. ■





Филипп Христенсен

# Многоликий Марс

Восход над землей Аравия, если смотреть с запада на равнину Утопия. На этом уже обработанном изображении виден край обширной Великой Северной равнины, где по древним руслам рек могли течь паводковые воды. В центре расположен западный край кратера Лио, освещенный первыми лучами Солнца.

**М**ногие люди едут в пустыню, чтобы полюбоваться скупой и первозданной простотой, а меня привлекает ее сложность. Горные породы в западной Аризоне, где я работал, свидетельствуют об одной из наиболее запутанных страниц истории на Земле. Пласты известняка, аргилита, кварцевого песка и застывшей лавы говорят о том, что на протяжении последних 600 млн. лет эта область сначала была теплым мелководным морем, затем илистым болотом, огромной пустыней с раскаленными дюнами, ледниковым покровом, а потом мелким морем. Вулканическая деятельность привела к образованию островов, подобных Японским, а затем примерно на 150 км по краю глубокого разлома преобразовала пласты пород в мрамор и кварцит. Поднятие и эрозия создали современный пустынный ландшафт.

Ранее невозможно было столь детально восстановить геологическую историю Марса. Красная планета превратилась из точки на ночном небе в страну величественных вулканов, пересохших рек, древних озер и продуваемых ветром лавовых покровов. История Марса – одна из наиболее захватывающих в Солнечной системе. Пока ученым удалось лишь схематично ее воссоздать, собирая фрагментарные данные. Годами они не могли разобраться, был ли Марс когда-то теплым, сырым и похожим на Землю или он всегда был холодным, сухим и бесплодным, как Луна. Планетологи словно пытались по одной ноте восстановить музыкальное произведение целиком.

Последнее десятилетие ознаменовалось новой, третьей эрой изучения Марса, когда вслед за телескопическими наблюдениями XIX в. пришла эпоха первых космических аппаратов, появившихся в 60–70-х гг. XX в. Благодаря их работе, а также с помощью марсоходов были составлены топографические

карты планеты, исследован ее минералогический состав, получены подробные изображения поверхности, позволяющие судить о протекавших здесь геологических процессах. В итоге Марс могут исследовать и геологи. Горные породы, минералы и формы рельефа готовы поведать о его истории.

Поверхность Марса постоянно испытывала влияние огромного разнообразия процессов и условий окружающей среды. Климат менялся от засушливого до влажного, до появления снежного и ледяного покровов. Теперь нам предстоит разобраться, насколько тепло или влажно было в тот или иной промежуток времени, как долго продолжались такие изменения. Новые ответы на эти вопросы, полученные в процессе изучения Красной планеты, убедили многих, что на Марсе возможна жизнь – как сейчас, так и в прошлом.

### Два места, как две планеты

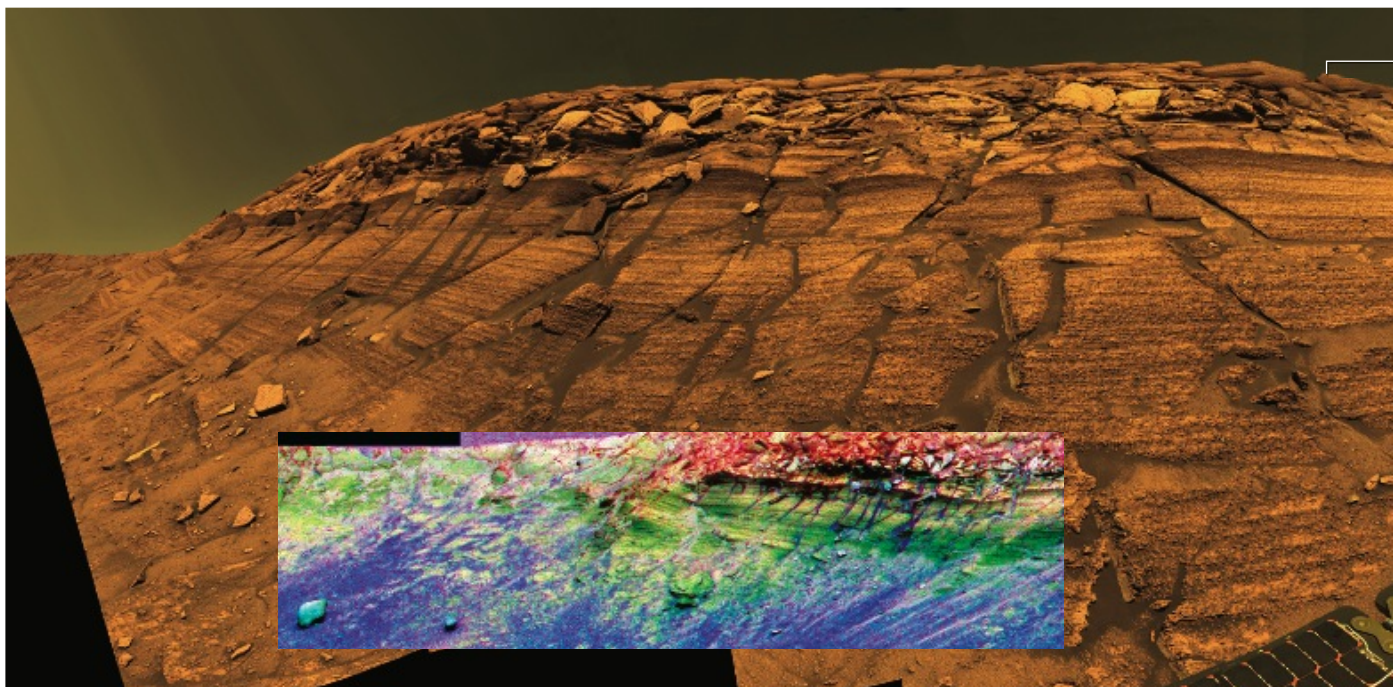
В январе 2004 г. в двух различных районах Марса совершили посадку два космических аппарата, запущенных NASA. Марсоходы *Spirit* и *Opportunity*, оснащенные видеокамерами и спектрометрами, должны были определить химический состав грунта и горных пород и ответить на главный вопрос геологов: какова роль воды на Марсе? *Spirit* совершил посадку в кратере Гусева, который был выбран из-за формы рельефа: на полученных с орбиты изображениях видно, что долина Маадим ведет в кратер Гусева, как если бы он был когда-то озером.

Сначала *Spirit* не нашел свидетельств существования воды, обнаружив вулканические породы, которые, как показал спектрометр, состояли из оливинов и пироксенов – минералов, которые разрушились бы даже при незначительном количестве жидкой воды. Породы не подвергались действию воды, возможно, около 3 млрд. лет со времени их извержения. Когда *Spirit* вскараб-

кался на холмы Колумбии, дающие широкий обзор местности, ситуация стала еще интересней. Марсоход обнаружил высокое содержание солей серы. Видимо, вулканические породы раздробились на мелкие частички, которые затем благодаря соли цементировались. Такой процесс мог происходить при участии жидкой воды, просачивавшейся через породы, или серной кислоты, вступающей в реакцию с породообразующими минералами. Однако, несмотря на следы воды, эти горные породы содержат и значительное количество оливинов и пироксенов. Следовательно, даже если когда-то здесь и было озеро, то в последние несколько миллиардов лет вода играла второстепенную роль.

Марсоход *Opportunity* совершил посадку на Меридианное плато. Выбор этого места открывает новую фазу в исследовании человеком Солнечной системы: никогда до этого ученые-планетологи не посылали зонд с целью минералогических исследований. Во время первых космических полетов на Марс были определены химические элементы, входящие в состав поверхностного слоя планеты. Определение минерального состава кристаллических структур требует исследований со специальным спектрометром теплового излучения *TES (Thermal Emission Spectrometer)*. Прибор был разработан мною для запущенного NASA орбитального аппарата *Mars Global Surveyor*, который достиг планеты в 1997 г. Мы составили минералогические карты, и на них Меридианное плато выделялось высоким содержанием кристаллического гематита.

Распространенный на Земле оксид железа может образовываться в результате нескольких процессов, большая часть которых протекает с участием воды. Один из них – осаждение из растворов, циркулирующих в осадочных породах. Другой – осаждение и дегидратация водных окислов железа, таких как гематит, красновато-бурый ▶



минерал, найденный во многих пустынных почвах. Содержащие гематит породы Меридианного плато имеют вид тонких пластов, подвергшихся эрозии, лежащих поверх более древней неровной поверхности, вероятно, осадочного происхождения. Они заполняют русла и другие понижения рельефа и скорее всего были отложены водой, а не привнесены в ландшафт деятельностью вулканов или ветра.

Через несколько дней после посадки *Opportunity* подтвердил, что Меридианное плато когда-то находилось под водой. Здесь впервые были обнаружены обнажения осадочных пород, которые столь богаты сульфатами (от 30 до 40% от массы), что их образование можно объяснить только испарением воды, содержащей большое количество серы. В кратере Гусева сульфаты такой концентрации полностью отсут-

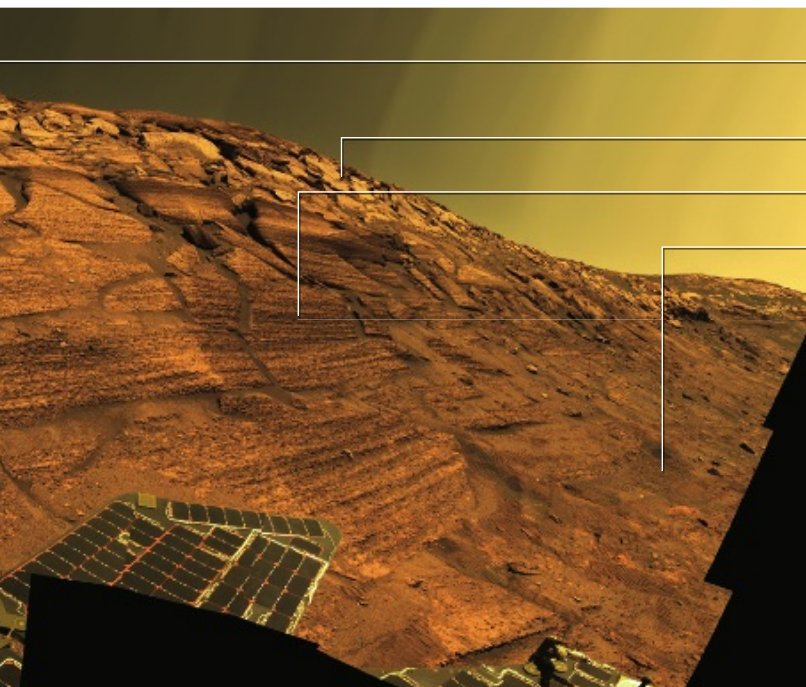
ствуют. Гематит имеет форму шариков, похожих на чернику, диаметром от 1 до 5 мм, заключенных в осадочных породах или разбросанных по поверхности.

Самый крупный выход пород, который исследовал *Opportunity*, называется утесом Бернса и выглядит как ряд сохранившихся песчаных дюн, промытых поверхностными и грунтовыми водами. Многие песчинки имеют сульфатный состав и образованы в результате испарения воды, которая могла застаиваться на ровных участках между дюнами (в так называемых плейсах). Породы утеса Бернса формировались на протяжении сотен и даже тысяч лет. Круглые зерна гематита могли образоваться позднее, в процессе циркуляции насыщенных железом растворов в осадочных отложениях. Впервые ученые исследовали обнажения пород на Марсе так же многосторонне, как геологи исследуют их на Земле.

Меридианное плато, одно из наиболее плоских форм рельефа на планете, напоминает дно озера. Определенные с орбиты размеры распространения гематита свидетельствуют о том, что это было боль-

### ОБЗОР: СТРАННОСТИ МАРСА

- Марсоходы *Spirit* и *Opportunity* бродят по Марсу уже полтора года. Три орбитальных аппарата в это время составляют топографические и минералогические карты планеты.
- Ранее главным признаком существования воды на Марсе были формы рельефа, но их толкование было неоднозначным. Теперь минералогические признаки (наличие оксидов железа и солей серы) и текстурные (сфероидальные отдельности и знаки ряби в коренных породах) не оставляют сомнений в том, что место посадки *Opportunity* – дно древнего озера.
- Геологическая история планеты причудливо и кардинально изменчива в зависимости от места и времени. Большая ее часть выглядит так, как будто на ней нет ни капли воды, и даже место посадки *Opportunity* уже долгое время остается сухим. Другие геологические объекты (вулканы) также отличаются друг от друга.



Сульфатные осадочные породы, отложенные водой

Эоловые тонкослоистые пески

Эоловые широкослоистые пески

Рыхлые пески

Утес Бернса представляет собой обнажение пород, интенсивно изучавшееся марсоходом *Opportunity*. Высотой в три этажа, утес представляет собой часть края кратера Выносливости, находящегося примерно в 700 м от точки посадки марсохода. Породы в его верхней части богаты сульфатными солями (красные и желтые на врезе в псевдоцветах) и, вероятно, формировались в процессе чередования периодов затопления и засух. Породы нижнего яруса – это тонкие и мощные слои – смесь (зеленый) связанного с водой минерала гематита и быстро разрушаемых водой минералов, образующих базальты. Вероятно, это древние дюны, которые большую часть времени были сухими, но располагались вблизи большого водоема. Дно кратера покрыто базальтовыми песками (голубой).

шое изолированное озеро или даже маленькое море, а не часть Мирового океана. Несколько кратеров к югу и к западу от основных залежей гематита также сложены богатыми гематитом слоистыми породами и, возможно, были отдельными озерами.

Может создаться впечатление, что два марсохода побывали на двух абсолютно разных планетах, одна из которых суше любой пустыни на Земле, а другую можно назвать странной тысячей озер. Неужели геологическое строение Марса еще более разнообразно? Могут ли два места посадки марсоходов, разнесенные на тысячи километров, представлять полный набор горных пород и водной активности на Марсе? Пытаясь ответить на эти вопросы, ученые по-новому посмотрели на данные, полученные с орбиты.

### Лавовая земля

За последние 8 лет прибор *TES* обнаружил, что слагающие Марс горные породы и пески почти целиком образованы из магматических минералов, составляющих базальт: полевого шпата, пироксена и оливина. Весной 2004 г. запущенный

Европейским космическим агентством орбитальный аппарат *Mars Express* с установленным на борту инфракрасным спектрометром *OMEGA* присоединился к исследованиям и изучил распространенность подобных минералов. Оливин был найден на глубине более 4,5 км ниже поверхности Марса на стенах ущелий Маринера. Он обнаружен на всех экваториальных равнинах, включая русла рек. Открытие базальтов не было большим сюрпризом, поскольку они покрывают большую часть Земли и Луны. Лава, «затопившая» Гавайи, тоже базальтовая – первородная, образовавшаяся на первой стадии плавления мантии планеты. На Земле она постоянно извергается из срединно-океанических хребтов, выстилая ложе океана.

Другое открытие стало неожиданным. В то время как породы древних областей со множеством кратеров – базальтовые, породы северных низменностей напоминают андезит: они содержат больше вулканического стекла и минералов, богатых кремнием, и меньше тех, что содержат железо. На Земле андезиты обычно образуются, ког-

да из-за опускания тектонических плит вода смешивается с магматическими расплавленными породами. Существование андезитов на Марсе может указывать на то, что его мантия более жидкая, чем у Земли, или что молодая лава плавилась при иных температуре или давлении, чем старые базальты. Некоторые ▶

### ОБ АВТОРЕ:

**Филипп Христенсен** (Philip R. Christensen) – профессор Университета штата Аризона в Темпле, ведущий специалист по химическому составу марсианской поверхности. Его исследовательская группа разрабатывала инфракрасные приборы для таких миссий, как *Mars Global Surveyor*, *Mars Odyssey* и *Mars Exploration Rover*. В 2003 г. NASA за научные исследования Марса в инфракрасном диапазоне наградило его медалью за выдающиеся научные достижения. С середины 1990-х гг. благодаря наблюдениям космических аппаратов он занимается изучением проблем окружающей среды и урбанизации Земли.

ученые считают, что предполагаемые андезиты – замаскировавшиеся базальты. Плотный водный или кислотный туман мог прореагировать с минералами и превратить их в андезитоподобные отложения.

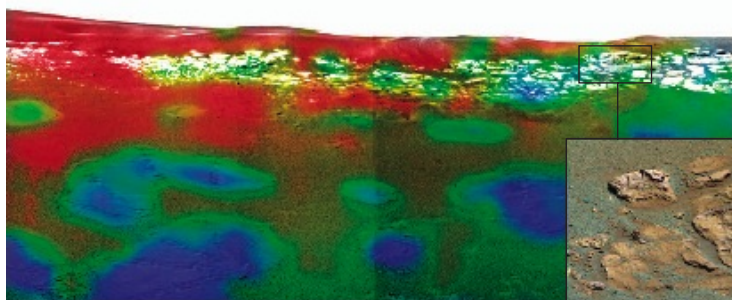
Разрешение прибора *TES* довольно низкое: несколько километров поверхности приходится всего на

1 пиксель. Насколько разнообразен минералогический состав Марса, стало очевидно только в 2001 г., когда началась картографическая съемка планеты инфракрасной камерой *THEMIS* с пространственным разрешением 100 м. Моя группа разработала камеру для *Mars Odyssey* – орбитального аппарата, запущен-

ного *NASA*, который вместе с *OMEGA* выявил многообразие химического состава изверженных пород, соперничающее с земным.

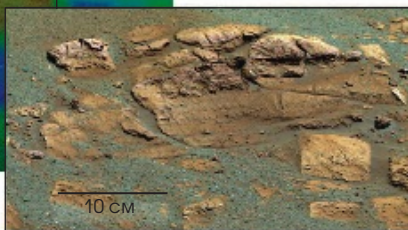
Вблизи марсианского экватора находится вулкан диаметром 1100 км – Большой Сырт. На его вершине имеется несколько кальдер обрушивания. Тело вулкана базаль-

## ГДЕ НА МАРСЕ БЫЛА ВОДА

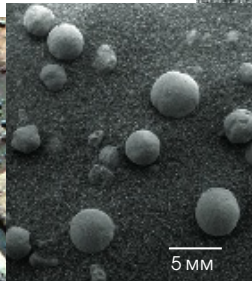
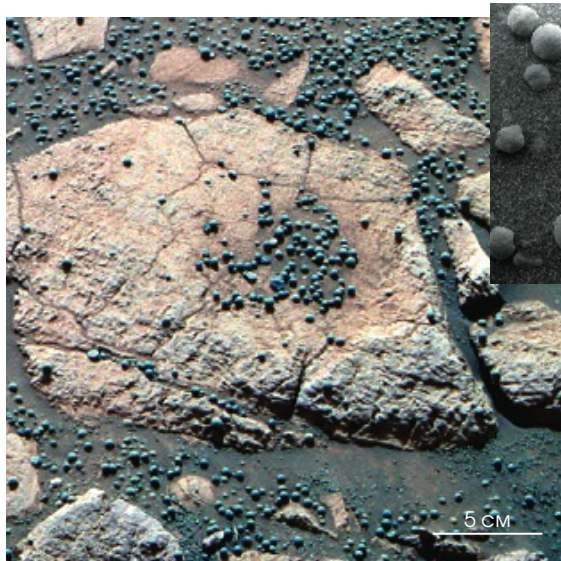


**Панорама кратера Орел**, где совершил посадку *Opportunity*, отражает изменение содержания гематита (минерала, связанного с водой) от низкого (голубой) до высокого (красный). Голубые пятна, размером около 1 м, возникли в результате

посадки марсохода. Белые области на заднем плане – обнажения пород, таких как Эль-Капитан (врезка). При детальном исследовании было обнаружено, что они состоят из отложенных водой сульфатов и гематита.

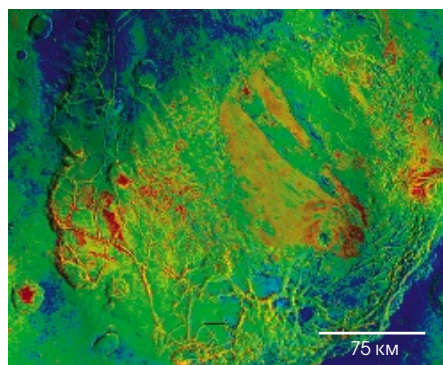


«Черника», разбросанная по месту посадки, – сфероидальные отдельности. Их высокая концентрация в данной породе, названной Миской ягод (показанной здесь в псевдоцветах), позволила марсоходу уверенно определить их химический состав: это гематит, который, вероятно, осаждался в порах озерных осадков.



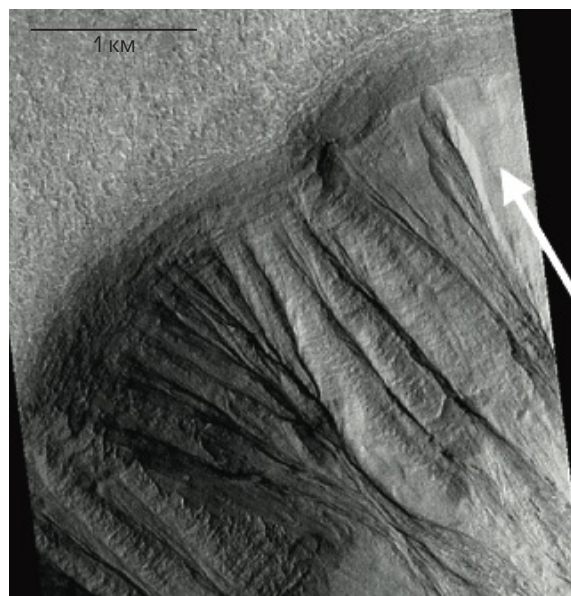
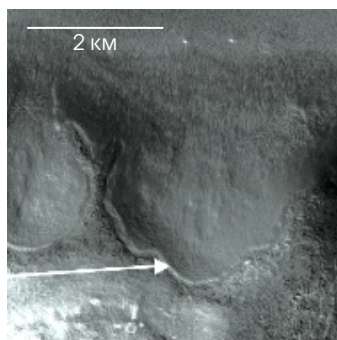
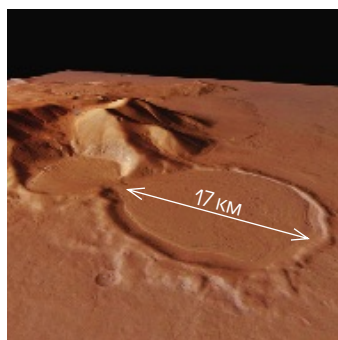
**На изображении под микроскопом** видны сфероидальные отдельности, заключенные в грунте (слева) и в скале, названной Верхними Лощинами (вверху). Порода исполосована слоями миллиметровой толщины, чьи очертания свидетельствуют об осаждении в текучей воде.

**Хаос Арам** – кратер, который, подобно месту посадки *Opportunity*, заполнен гематитом. Ночные температуры, измеренные орбитальным аппаратом *Mars Odyssey*, указывают на наличие: теплого (красное) – скальных пород, а холодное (голубое) – пыли и песка. В пологой центральной части кратера (оранжевый), вероятнее всего, озерные отложения. Область трещин на юге указывает на внезапные обвалы грунта, возможно, при излиянии грунтовых вод.



NASA/JPL/КОНЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ/УНИВЕРСИТЕТ ШТАТА АРИЗОНА/ТИМ ГЛОТЧ (Хаос Арам); NASA/JPL/КОНЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ/УНИВЕРСИТЕТ Эль-Капитан и Миска Ягод; NASA/JPL/КОНЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ/USGS (изображение под микроскопом сфероидальных отдельностей в грунте и породе); NASA/УНИВЕРСИТЕТ ШТАТА АРИЗОНА/ТИМ ГЛОТЧ (Хаос Арам)





**Снег.** Сейчас Марс не столь динамичен, как раньше, но планета до сих пор жива. Орбитальный аппарат *Mars Express* обнаружил, что образованные недавно, по геологическим меркам, ледники перетекают через горные хребты и кратеры (слева). Орбитальный аппарат *Mars Odyssey* обнаружил остатки снега (стрелки в центре и справа) на обращенных к полюсам склонах. Снег мог быть источником той жидкой воды, которая вымыла свежие овраги (справа). Если где-нибудь на Марсе сегодня и сохранились микробы, то скорее всего – в этих остатках снежного покрова.

товое, а склоны усеяны конусами и потоками застывшей стекловато-кремниевой массой (дацит). Такие породы образуются в вулканических очагах-камерах, расположенных под вулканами. При остывании магмы первыми кристаллизуются оливин и пироксен с высоким содержанием железа и магния. Эти минералы опускаются на дно очага, оставляя магму, насыщенную кремнием и алюминием, – из нее и образуются дациты. Вершины внутри некоторых кратеров на склонах Большого Сырта состоят из еще более обогащенной кремнием породы – гранита, который мог образоваться при крайне высокой степени кристаллизации или переплавке ранее образованных базальтов.

Исследователи сделали вывод, что вулкан прошел несколько стадий развития. Сначала из центра извергалась базальтовая лава, которая его и образовала. По мере химических изменений и изливания магм происходили обрушения вершины вулкана, извержения на склонах. Марсианские вулканы не только огромны, но и сложны.

### И пойдут теплые дожди

Важно не только то, что есть на Марсе, но и то, чего на нем нет. Кварц

распространен на Земле, но крайне редок на Марсе. Значит, и гранита, в состав которого он входит, тоже немного. Также нет свидетельств наличия метаморфических пород, таких как сланец или мрамор, образующихся, когда извержения или осадочные породы подвергаются действию высокого давления или температуры. Видимо, на Марсе не было тектонических движений, обладающих достаточно сильной энергетикой, чтобы опускать породы на большую глубину, где они могли нагреваться и сдавливаться, а затем опять выталкивать их на поверхность.

У Земли большие запасы карбонатных пород, таких как известняк, который осаждается в теплых, насыщенных углекислым газом океанах. Если ученые-планетологи считают, что Марс когда-то был теплым и влажным, они должны предполагать наличие мощных пластов карбонатных пород. Но они не обнаружены. Это говорит о том, что океаны могли быть холодными, существовать короткое время, быть покрыты льдом или еще каким-либо образом препятствовать формированию карбонатов. Вездесущая пыль содержит небольшое их количество, но они скорее образовались при непосред-

ственном взаимодействии с водяным паром в атмосфере, а не в жидкой воде на поверхности. Другая разновидность связанных с водой горных пород – глины, которые тоже очень редки на Марсе, что свидетельствует в пользу того, что планета в основном была сухая. Оливин и пироксен, которые боятся воды, здесь также широко распространены.

В этом смысле то, что увидел *Spirit* в кратере Гусева, было более характерно для Марса, чем обнаруженное *Opportunity* на Меридианном плато. Но дело в том, что Меридианное плато – не единственное место, чьи изображения, полученные с орбиты, указывают на присутствие озер. Кратер Хаос Арам (диаметр 280 км) имеет выводной канал, содержащий гематит. По его дну разбросаны гигантские обломки, которые как будто были выброшены наружу стремительным потоком подземных вод, что привело к обрушению кровли. В воде, заполнявшей кратер, образовались слои осадочных пород, в составе которых был гематит.

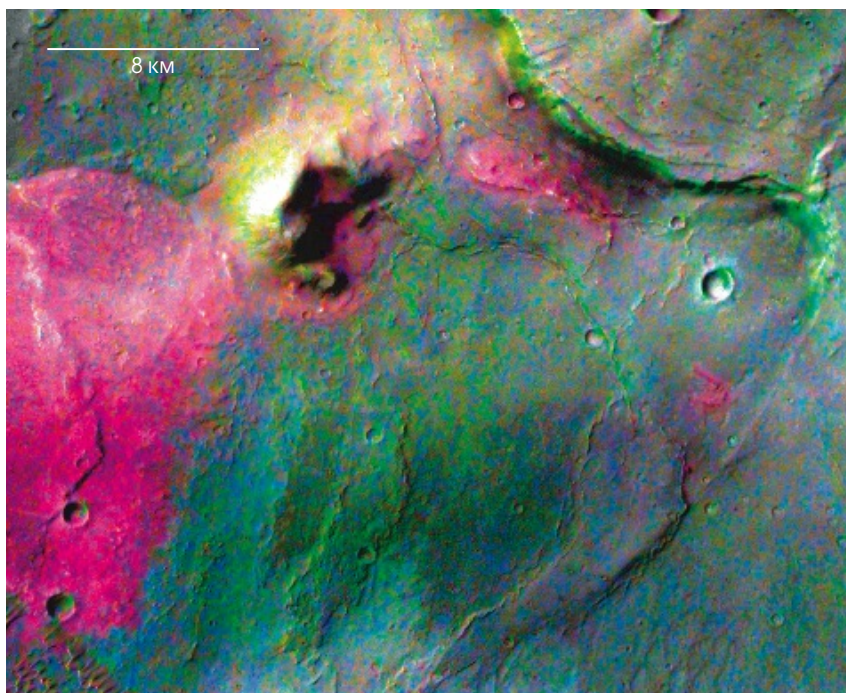
В долинах Маринера также видны тонкие эродированные слои пород, где он присутствует, что указывает на осаждение в стоячей воде. В экваториальной области горные ▶

ESA/DLR/FU-BERLIN (Г. НЬЮКОМ) (слева); NASA/JPL/MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS (в центре); NASA/JPL/MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS/ФИЛИП ХРИСТЕНСЕН (справа)

породы богаты сульфатами – верный признак участия воды в отложении осадков. Озера могли испаряться, замерзать и пересыхать. Кроме областей древних озер на Марсе есть области, изрезанные частой сеткой каналов, внешний вид которых говорит о том, что они были созданы ливневыми и поверхностными водами. Некоторые исследователи предполагают, что обширное пространство на Марсе занимал океан: на снимках и топографических картах видны признаки береговой линии и пологого океанического дна.

Все эти открытия убедительно подтверждают факт существования воды, время от времени заполнявшей изолированные области. Что заставило воду накапливаться и оставаться в этих местах? Согласно главной гипотезе, это объясняется совместным воздействием геотермального нагрева, большого количества солей (которые снижают температуру замерзания) и защитного ледяного покрова. Столкновения с крупными метеорными телами также могли изредка утолщать и нагревать атмосферу.

Идея о том, что когда-то планета была похожа на Землю, кажется, устаревает. Карты минеральных ресурсов убедительно доказывают, что древняя поверхность, на которой до сих пор сохранились вулканические породы, мало подверглась влиянию воды. Даже на Меридианном плато базальтовые пески, лежащие поверх озерных отложений, указывают на то, что засухи здесь продолжаются уже 2 или 3 млрд. лет. Следы озер и похожих на речную сеть каналов существуют, но вода могла течь по ним только в течение краткого периода времени. Возможно, большую часть времени она была заморожена, но иногда лед таял, а потом опять быстро замерзал. До сих пор ученые-планетологи ломают голову над тем, как такой безводный мир мог быть таким водным в определенных местах и в некоторые периоды.



**Патера Нила** – область на вершине гигантского вулкана Большой Сырт, которая содержит как старые базальтовые лавы (голубые), так и молодые дацитовые конусы и лавовые потоки (красные). Песчаные дюны (оранжевые) – смесь двух типов пород. Вулканизм на Марсе с химической точки зрения оказался более сложным, чем ожидали ученые.

### Планета долгих сезонных изменений

Прошлое Марса всегда привлекало внимание ученых. А новые данные заставили их с еще большим энтузиазмом приняться за изучение его современной активности.

Во-первых, появилась масса сторонников того, что в недавнем прошлом Марс был геологически активен. Большинство крупных вулканов и лавовых покровов стары и датируются первой половиной истории планеты. Но отсутствие метеоритных кратеров в потоках лавы в таких областях, как Атабаска, свидетельствует об их молодости (по геологическим меркам). Продуктам извержений всего несколько миллионов лет. Исследователи пытались обнаружить места вулканической и геотермальной активности на полученных в ночное время инфракрасных изображениях, но так ничего и не увидели. Кажется, Марс остыл до такой степени, что вулка-

низм на нем очень слаб, хотя временами лава изливается на поверхность.

Во-вторых, сделано важное открытие, что Марс является колоссальным резервуаром замороженной воды, распределение ресурсов которой не зависит от климатических изменений. На обоих полюсах были обнаружены залежи льда или богатых льдом отложений, толщина которых достигает нескольких километров. Инфракрасные измерения температуры, полученные в 70-х гг. XX в., показали, что северная полярная шапка льда отличается по химическому составу от южной, поверхностная температура которой достигает точки замерзания углекислоты. Но может ли под замороженной углекислотой скрываться обычный лед из воды? Недавние измерения температуры прибором *THEMIS* обнаружили его, проступающим наружу в некоторых местах южной полярной шапки.



**Аполлонова патера** – протяженный, но низкий вулкан, извергавший лаву разного химического состава. Он мог быть источником пепла, обнаруженного марсоходом *Spirit* на 350 км южнее. Вулканические породы несут следы водной эрозии. Также космический аппарат обнаружил в этой области современные оползни.

Приборы *Gamma Ray Spectrometer* и *High Energy Neutron Detector*, установленные на борту *Mars Odyssey*, измеряли потоки гамма-лучей и нейтронов, возникающих при столкновениях космических лучей с атомами в грунте. Распределение энергии гамма-лучей и нейтронов отражает химический состав грунта до глубины нескольких метров. Например, водород поглощает нейтроны, недостаток которых означает наличие подповерхностного водорода (вероятно,  $H_2$  или  $H_2O$ ). В областях между полюсами и широтой  $60^\circ$  содержание воды в грунте составляет более 50%. Такая высокая концентрация льда не могла образоваться просто при диффузии водяного пара из атмосферы в поры грунта. Скорее всего лед аккумулировался при выпадении снега или инея.

Наблюдаемые на средних широтах необычные формы также выдают присутствие льда. В обоих полу-


шариях между широтами  $30^\circ$  и  $50^\circ$  есть области с ячеистой структурой, которая могла образоваться при испарении льда из нагретого грунта. Залежи неизвестного материала толщиной до 10 м обнаружены в углублениях на холодных, обращенных к полюсам склонах. Возможно, это остатки обычного снега. Одним из наиболее значительных открытий стали небольшие свежие овраги на средних широтах, вероятно, проделанные весенними водами в процессе таяния приповерхностного льда или снежного покрова.

Все открытия говорят о том, что на Марсе, как и на Земле, был ледниковый период. Наклон оси вращения планеты к плоскости орбиты меняется примерно на  $20^\circ$  с периодом 125 тыс. лет. Когда наклон оси наибольший, полюса становятся самыми холодными местами на планете. Снега больше выпадает, чем испаряется, что приводит к накоплению льда. Когда наклон оси уменьшает-

ся, полюса получают больше солнечного света и тепла по сравнению со средними широтами. Вода перетекает от полюсов к экватору. Если поверхность покрыта снегом, то она струится тонкими змейками. В наше время на средних широтах теплее, и снежного покрова в основном нет. Если теория ледниковых периодов верна, то очередной наступит через 25–50 тыс. лет.

Марс – планета с очень необычным геологическим строением, с удивительно динамичным настоящим и непонятным, даже парадоксальным прошлым. Вулканические породы здесь такие же разнообразные, как и на Земле, а проявления работы воды представлены полностью. На заре своей истории планета испытывала сильные наводнения и, возможно, на ней даже шли дожди, хотя ее древние породы сохранили минералы, которые быстро разрушились бы во влажной среде. Сейчас климат сухой и холодный, но открытия, сделанные зондом *Opportunity* на дне древнего моря, свидетельствуют о том, что климат менялся. Жидкая вода не могла сохраниться в современных условиях, но овраги образовались недавно, и этот процесс еще будет продолжаться.

Разнообразие условий, меняющихся в пространстве и времени, – один из наиболее обнадеживающих аргументов в пользу существования живых организмов на Марсе: кое-где могли сложиться благоприятные условия для зарождения жизни. Периодически вода заполняла озера. Может быть, этого времени было достаточно, чтобы возникли живые организмы, которые еще могут цепляться за жизнь, впадая в зимнюю спячку на время наступления холодов и оттаивая при улучшении климатических условий. Возможно, в остатках снежного покрова, оврагах и других местах во время будущих беспилотных полетов может быть обнаружена жизнь. ■



Масса африканского слона (6 т) в 600 млрд. раз больше массы самого маленького муравья (0,01 мг). Примерно во столько же раз верхний кварк тяжелее нейтрино. До сих пор не понятно, почему массы элементарных частиц так сильно различаются.

Гордон Кейн

# загадки МАССЫ

Физики продолжают охоту за бозоном Хиггса, который поможет убедиться в существовании одноименного поля, наделяющего массой каждую частичку Вселенной.



**М**ногие люди знают, что такое масса. Всем ясно, что слон больше и тяжелее муравья. Даже в отсутствие гравитации гигантский обладатель хобота имеет бóльшую массу: его тяжелее сдвинуть с места и разогнать. Очевидно, слон более массивен, потому что состоит из значительно большего числа атомов, чем муравей. Но чем же определяются массы отдельных атомов? Что можно сказать о массе элементарных частиц, из которых они состоят? Откуда она берется?

У проблемы массы есть два независимых аспекта. Прежде всего хотелось бы понять, как вообще появляется масса. Оказывается, в ее возникновении участвуют по крайней мере три различных механизма, которые будут описаны ниже. Главную роль в физических теориях массы играет так называемое поле Хиггса, якобы пронизывающее весь реальный мир. Считается, что элементарные частицы обретают массу в результате взаимодействия с этим полем. Если оно есть на самом деле, то согласно теории должна существовать связанная с ним частица – бозон Хиггса, за которым ученые охотятся с помощью ускорителей частиц.

Кроме того, ученые хотят знать, почему различным видам элементарных частиц соответствуют строго определенные значения массы,

причем самая тяжелая частица на 11 порядков массивнее самой легкой. Во столько же раз слон тяжелее самого маленького муравья (см. рис. на стр. 30).

## Что же такое масса?

В 1687 г. Исаак Ньютон писал в своих знаменитых «Началах»: «масса есть мера вещества, устанавливаемая пропорционально плотности и объему его». Такое базовое определение вполне устраивало ученых в течение двух веков. Они понимали, что наука сначала должна описать, как действуют законы природы, а уж потом разбираться, почему все происходит именно так, а не иначе. В последние годы актуальным для физиков стал вопрос «почему существует масса?». Понимание значения и происхождения массы дополнит и расширит Стандартную модель физики элементарных частиц, которая описывает их взаимодействия. Это также поможет разрешить загадку темного вещества, которое составляет около 25% Вселенной.

Современные представления о массе гораздо сложнее, чем определение Ньютона, и базируются на Стандартной модели. В ее основе лежит математическая функция, которая называется лагранжианом и показывает, как взаимодействуют различные частицы. Следуя ▶

правилам релятивистской квантовой теории, с помощью лагранжиана физики могут рассчитать поведение элементарных частиц и, в частности, описать, как они образуют протоны и нейтроны. И к элементарным, и к составным частицам применимо уравнение  $F=ma$ , связывающее силу, массу и приобретаемое ею ускорение. Функция Лагранжа помогает нам вычислить значение, которое следует использовать в качестве  $m$ , т.е. массу частицы. Но она входит не только во Второй закон Ньютона. Например, согласно частной теории относительности, не имеющие массы частицы в вакууме движутся со скоростью света, а частицы с массой движутся медленнее, причем, зная массу, можно рассчитать их скорость. Более того, гравитация действует на массу абсолютно так же, как на эквивалентную ей энергию. Величина  $m$ , рассчитанная с помощью лагранжиана, идеально подходит на роль массы во всех без исключения физических уравнениях.

Фундаментальные частицы имеют строго определенную массу покоя (частицы с нулевой массой покоя называются безмассовыми). Полная масса сложной частицы состоит из суммы масс покоя составляющих ее частиц, а также их кинетической энергии движения и потенциаль-

ной энергии взаимодействия. Связь энергии и массы описывается известным уравнением Эйнштейна:  $E=mc^2$ , где  $c$  – скорость света.

Примером энергии, дающей вклад в массу, может быть хорошо знакомый нам вид вещества – протоны и нейтроны, из которых состоят атомные ядра. Эти частицы составляют 4–5% массы и энергии Вселенной (см. врезку на стр. 31). Согласно Стандартной модели, протоны и нейтроны образованы кварками, которые связаны между собой безмассовыми глюонами. Хотя элементы каждого протона кружат в непрерывном вальсе, мы видим его как единый объект со свойственной ему массой, которая равна сумме масс и энергий составляющих его элементарных частиц.

Из уравнений Стандартной модели следует, что почти вся масса протонов и нейтронов обусловлена кинетической энергией кварков и глюонов (остальное – массы покоя кварков). Таким образом, 4–5% всей Вселенной или почти все знакомое нам вещество состоит из энергии движения кварков и глюонов в протонах и нейтронах.

## Механизм Хиггса

В отличие от протонов и нейтронов такие элементарные частицы, как кварки и электроны, недели-

мы. Откуда у них берутся массы покоя – главная загадка происхождения массы. Согласно современной физической теории, массы фундаментальных частиц являются результатом их взаимодействия с полем Хиггса. Но почему это поле присутствует всюду во Вселенной? Почему в космических масштабах его напряженность не равна нулю, как у электромагнитного поля? Что такое поле Хиггса?

Поле Хиггса – это квантовое поле. Здесь нет ничего удивительного: все элементарные частицы представляют собой кванты соответствующих квантовых полей. Электромагнитное поле тоже является квантовым, а соответствующая ему элементарная частица – фотон. Так что поле Хиггса в какой-то мере не более загадочно, чем электроны и свет. И все же есть у него три особенности.

Первая из них чисто «техническая». Все поля характеризуются так называемым спином, т.е. определенной величиной углового момента соответствующих частиц. Например, у электронов он составляет  $1/2$ , а у большинства частиц, связанных со взаимодействиями (скажем, у фотонов), равен 1. Спин бозона Хиггса равен нулю, поэтому одноименное поле может входить в лагранжиан необычными способами, что, в свою очередь, обуславливает остальные его особенности.

Второе уникальное свойство поля Хиггса позволяет объяснить, почему его напряженность всюду отлична от нуля. Любая система, включая Вселенную в целом, стремится к состоянию с самой низкой энергией, словно шар, скатывающийся на дно впадины. Для обычных полей наподобие электромагнитного самое низкое энергетическое состояние соответствует нулевой напряженности поля, т.е. его отсутствию. Если же поле отлично от нуля, то содержащаяся в нем энергия увеличивает общую энергию системы. Однако в случае поля Хиггса энер-

## ОБЗОР: ФИЗИКА ПОЛЕЙ ХИГГСА

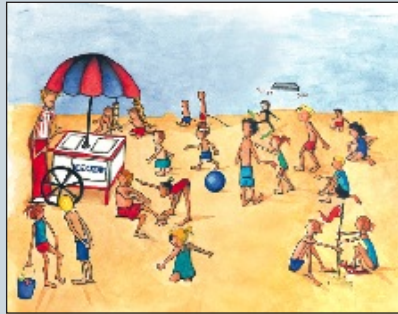
- Масса – привычное свойство вещества, но для ученых она во многих отношениях остается загадкой. Прежде всего – как элементарные частицы приобретают массу и почему ее значение у каждой из них строго определено?
- Ответы на эти вопросы помогут теоретикам завершить и расширить Стандартную модель физики элементарных частиц, которая описывает фундаментальные законы природы. Расширенная Стандартная модель поможет разгадать загадку темного вещества, которое составляет приблизительно 25% Вселенной.
- Согласно теории, элементарные частицы приобретают массу, взаимодействуя с квантовым полем Хиггса, пронизывающим всю Вселенную. Эксперименты на ускорителях частиц помогут ученым убедиться в существовании этого поля.

# СВОЙСТВА НЕУЛОВИМОЙ ЧАСТИЦЫ ХИГГСА

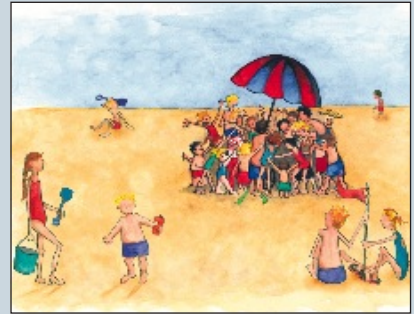
## КАК ПОЛЕ ХИГГСА СОЗДАЕТ МАССУ



«Пустое» пространство, заполненное полем Хиггса, похоже на пляж, полный детей.



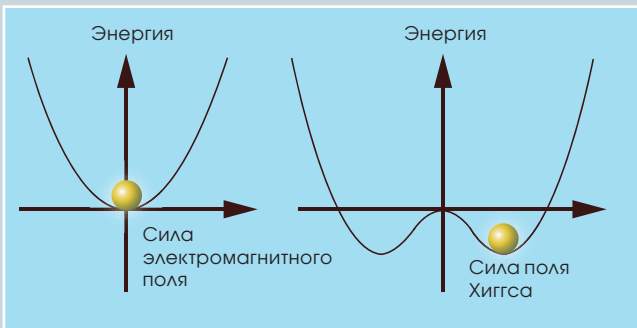
Частица, пересекающая область пространства, похожа на продавца мороженого.



Дети окружают тележку с мороженым и замедляют ее движение. В результате она приобретает «массу».

## ПРОНИЗЫВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Энергия обычных полей (например электромагнитное) минимальна при нулевой напряженности поля (слева). Вселенная напоминает шар, который скатывается и останавливается на дне впадины, где напряженность равна нулю. Энергия поля Хиггса минимальна при напряженности поля, отличной от нуля (справа). Таким образом, в состоянии с наименьшей энергией Вселенная пронизана полем Хиггса.



## ПОРОЖДЕНИЕ ДВУХ ЯВЛЕНИЙ

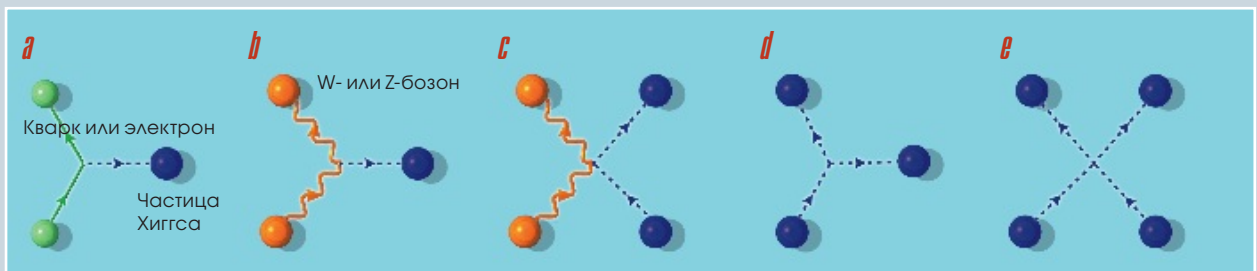
Два различных явления – приобретение массы частицей (сверху) и возникновение бозона Хиггса (снизу) – вызваны одним и тем же взаимодействием. Этот факт будет использован при экспериментальной проверке механизма Хиггса.

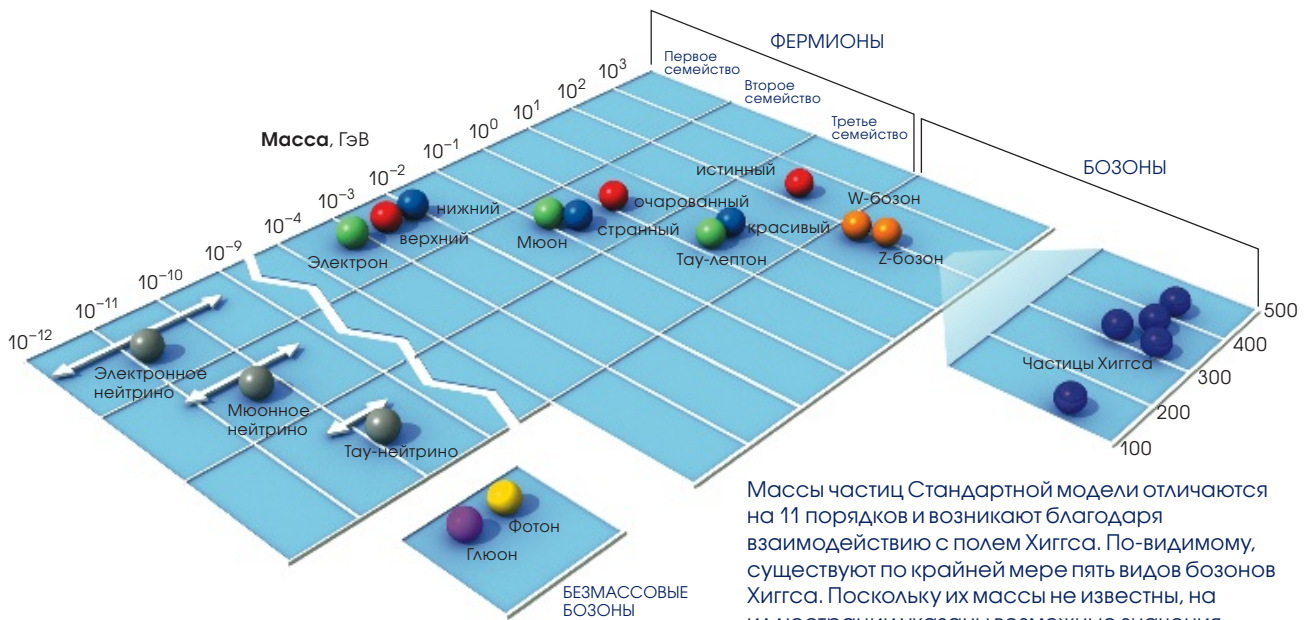


## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ ЧАСТИЦАМИ

Диаграммы Фейнмана изображают взаимодействие бозона Хиггса с другими частицами. Диаграмма *a* представляет испускание или поглощение бозона Хиггса частицей типа кварка или электрона. На диаграмме *b* показан соответствующий процесс для *W*- или *Z*-бозона. *W*- и *Z*-бозоны также могут одновременно взаимодействовать с двумя бозонами Хиггса, как показано на диаграмме *c*, которая изображает также *W*- или *Z*-рассеяние бозона

Хиггса (грубо говоря, столкновение с ним). Взаимодействия, представленные диаграммами *a*, *b* и *c*, отвечают за возникновение масс частиц. Кроме того, бозоны Хиггса взаимодействуют сами с собой (см. *d* и *e*). Можно изобразить и более сложные процессы, соединяя вместе копии элементарных диаграмм. Взаимодействия, изображенные на диаграммах *d* и *e*, отвечают за форму графа энергии (см. сверху слева).





Массы частиц Стандартной модели отличаются на 11 порядков и возникают благодаря взаимодействию с полем Хиггса. По-видимому, существуют по крайней мере пять видов бозонов Хиггса. Поскольку их массы не известны, на иллюстрации указаны возможные значения.

гия Вселенной минимальна, когда его напряженность не равна нулю. Таким образом, для обычных полей дно впадины соответствует нулевой напряженности; для поля Хиггса в центре впадины (при нулевой напряженности) имеется пригорок, а самые низкие точки образуют ров (см. стр. 29). Подобно шару, Вселенная «скатывается» в круговое углубление, которое соответствует ненулевому полю. Поэтому в естественном состоянии с самой низкой энергией Вселенная повсюду пронизана полем Хиггса.

Последняя отличительная черта поля Хиггса связана с особенностями его взаимодействия с другими частицами. Они ведут себя так, будто имеют массу, пропорциональную напряженности поля, умноженной на силу взаимодействия. Массы связаны с теми членами лагранжиана, которые относятся к частицам, взаимодействующим с полем Хиггса.

Однако пока мы не можем точно сказать, сколько существует видов полей Хиггса. Хотя Стандартная модель требует, чтобы все массы элементарных частиц были обусловлены одним полем Хиггса, настало время заменить ее более пол-

ной теорией. Главные претенденты на роль последней – расширения Стандартной модели, известные как Суперсимметричные стандартные модели (ССМ). В них каждая частица Стандартной модели имеет так называемого суперпартнера (пока еще не обнаруженного) с тесно связанными свойствами (см. «Заря новой эры», «В мире науки», №9, 2003 г.). В ССМ необходимы по крайней мере два различных вида полей Хиггса, взаимодействие с которыми наделяет каждую частицу Стандартной модели массой. Эти поля также придают часть массы (но не всю) суперпартнерам. Два поля Хиггса приводят к пяти разновидностям бозонов Хиггса: три из них электрически нейтральны и два заряжены. Массы нейтрино очень малы по сравнению с массами других частиц и могут возникать из этих взаимодействий косвенно или быть связанными с еще одним, третьим видом поля Хиггса.

У теоретиков есть несколько причин считать, что ССМ-картина взаимодействий Хиггса окажется правильной. Во-первых, без механизма Хиггса  $W^-$  и  $Z$ -бозоны, которые являются посредниками в слабых взаимодействиях, были бы безмас-

совыми, как фотон (с которым они связаны), и слабое взаимодействие было бы таким же сильным, как электромагнитное. Согласно теории, механизм Хиггса придает массу  $W^-$  и  $Z$ -бозонам весьма специфическим образом. Предсказания, основанные на этом положении (например, отношения масс  $W^-$  и  $Z$ -бозонов) были подтверждены экспериментально.

Во-вторых, все другие аспекты Стандартной модели были хорошо проверены, а в столь подробной, взаимосвязанной теории трудно изменить одну часть (например, поле Хиггса), не затрагивая остальное. Например, результат измерений свойств  $W^-$  и  $Z$ -бозонов привел к точному предсказанию массы верхнего кварка задолго до того, как он был получен экспериментально. Если бы механизм Хиггса был другим, это и другие предсказания оказались бы неверными.

В-третьих, механизм Хиггса идеально подходит для объяснения происхождения масс всех частиц Стандартной модели,  $W^-$  и  $Z$ -бозонов, а также кварков и лептонов. Альтернативным теориям это, как правило, не удается. Кроме того, ССМ предлагает структуру, позво-



ляющую выработать единое понимание всех сил природы. Наконец, ССМ помогает объяснить, почему энергетическая впадина для Вселенной имеет форму, необходимую для механизма Хиггса. В базовой Стандартной модели форму впадины необходимо ввести как постулат, тогда как в ССМ она выводится математически.

### Проверка теории

Естественно, физики хотят убедиться, что масса является результатом взаимодействия с различными полями Хиггса. Можно проверить три ключевые особенности. Во-первых, следует поискать бозоны Хиггса: если их не существует, то объяснение нельзя считать правильным. Сейчас физики ищут бозоны Хиггса на Теватрон-коллайдере в Национальной лаборатории Ферми.

Во-вторых, как только бозоны Хиггса будут обнаружены, мы сможем наблюдать, как они взаимодействуют с другими частицами. Свойства таких взаимодействий задаются членами лагранжиана, определяющими массы частиц. Поэтому их наличие можно проверить экспериментально, т.к. силы взаимодействия и массы частиц однозначно связаны.

В-третьих, различным наборам полей Хиггса, появляющимся в Стандартной модели и ССМ, должны соответствовать разные наборы бозонов с уникальными свойствами. Ученым требуются коллайдеры, обеспечивающие достаточную энергию столкновений, чтобы получить различные бозоны Хиггса, и достаточную интенсивность, чтобы создавать их в больших количествах. Кроме того, они должны быть оснащены очень хорошими детекторами для анализа получающихся в результате частиц.

Поиск осложняется тем, что приходится исследовать широкий диапазон масс, поскольку мы пока не можем точно сказать, какие массы должны быть у бозонов Хиггса. ▶

Теория поля Хиггса объясняет, как элементарные частицы, наименьшие «кирпичики» Вселенной, приобретают массу. Но механизм Хиггса – не единственный источник массы-энергии во Вселенной (понятие «масса-энергия» объединяет массу и энергию, которые связаны формулой Эйнштейна  $E = mc^2$ ).

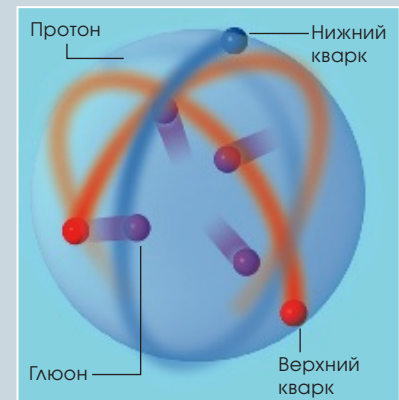
Приблизительно 70% массы-энергии Вселенной сосредоточено в так называемой темной энергии, которая непосредственно не связана с частицами. Главный признак существования темной энергии – ускорение расширения Вселенной. Природа темной энергии – один из самых сложных вопросов современной физики (см. «Космическая загадка», «В мире науки», №12, 2004 г.).

Остальные 30% массы-энергии Вселенной существуют в виде вещества, частиц с массой. Самый знакомый вид вещества – протоны, нейтроны и электроны. Из них состоит примерно одна шестая всего вещества, т.е. 4–5% всей Вселенной. Большая часть этой массы обусловлена энергией движения кварков и глюонов, кружащихся внутри протонов и нейтронов.

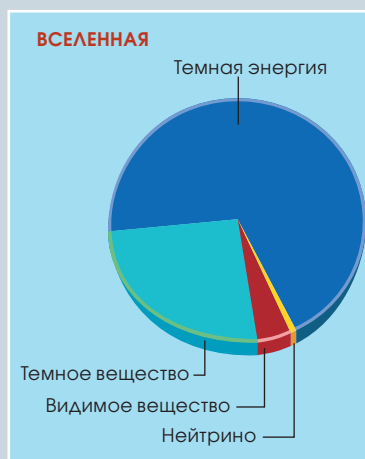
Меньший вклад в вещество Вселенной вносят нейтрино, которые образуют три группы

и имеют чрезвычайно маленькую массу. Абсолютные массы нейтрино еще не измерены, но, по имеющимся данным, их верхний предел не превышает 0,5% массы Вселенной.

Оставшиеся 25% массы-энергии Вселенной составляет невидимое нам темное вещество (темная материя), о существовании которого свидетельствует его гравитационное влияние на наблюдаемые нами объекты. Пока неизвестно, что представляет собой темное вещество, но уже есть хорошие кандидаты на его роль, а эксперименты по проверке различных теорий идут полным ходом (см. «Поиски темного вещества», «В мире науки», №7,



Большая часть видимой массы сосредоточена в протонах и нейтронах. Каждый из них состоит из вращающихся внутри них кварков и глюонов. Почти вся масса протонов и нейтронов обусловлена энергией движения кварков и глюонов.



Массу-энергию Вселенной образуют главным образом четыре типа материи: таинственная темная энергия, которая заставляет ускоряться расширение Вселенной; невидимое темное вещество, которое мы можем обнаружить по гравитационному взаимодействию; видимое вещество и различные виды нейтрино.

2003 г.). Темное вещество должно быть построено из массивных частиц, потому что под действием сил тяготения оно образует сгустки размером с галактику. Разнообразие доводов позволяет нам заключить, что темное вещество не может состоять из обычных частиц Стандартной модели.

Главный претендент на звание частицы темного вещества – самый легкий суперпартнер (ЛСП). Он появляется в расширениях Стандартной модели, называемых Суперсимметричными Стандартными моделями (ССМ). Судя по всему, масса ЛСП приблизительно равна 100 массам протона.

Теоретические рассуждения и анализ экспериментальных данных позволяют лишь грубо оценить, какой массы следует ожидать.

Ученые могли обнаружить бозоны Хиггса, которые должны быть как минимум в 120 раз тяжелее протона, на Большом электронно-позитронном коллайдере (*LEP*) в *CERN*. Однако их так и не удалось зарегистрировать. Перед закрытием *LEP* в 2000 г. на пределе энергии и интенсивности

В ближайшие несколько лет единственным коллайдером, который мог бы дать прямое подтверждение существования бозонов Хиггса, будет Теватрон. Энергии столкновений в нем будет достаточно, чтобы обнаружить бозон Хиггса, если удастся достигнуть требуемой интенсивности луча. На 2007 г. запланирован сбор данных на Большом адронном коллайдере (*LHC*) в *CERN*, энергия которого в семь раз выше и кото-

ся только на частицы Стандартной модели; по крайней мере один из продуктов распада должен быть суперпартнером.) Частицы-суперпартнеры должны были возникнуть на раннем этапе Большого взрыва, но затем быстро распасться до ЛСП, претендующего на звание основы темной материи.

Бозоны Хиггса также могут непосредственно влиять на количество темной материи во Вселенной. Мы знаем, что количество ЛСП сегодня должно быть меньше, чем сразу после Большого Взрыва, потому что некоторые из них могли столкнуться и аннигилировать в кварки, лептоны и фотоны, а скорость аннигиляции могла быть больше для ЛСП, взаимодействующих с бозонами Хиггса.

Как было упомянуто выше, два основных ССМ-поля Хиггса дают массу частицам Стандартной модели и часть массы таким суперпартнерам, как ЛСП. Остальную массу они приобретают через дополнительные взаимодействия с другими полями Хиггса или их аналогами. В общих чертах теоретические модели этих процессов уже разработаны, но подробности мы не узнаем, пока не соберем информацию о самих суперпартнерах. Ожидается, что такие данные будут получены на *LHC* или даже на Теватроне.

Массы нейтрино также могут быть результатом взаимодействий с дополнительными полями Хиггса. Раньше считалось, что нейтрино не имеют массы, но в 1979 г. теоретики предсказали, что они все-таки обладают чрезвычайно малой массой, а за прошлое десятилетие несколько серьезных экспериментов подтвердили эти предсказания (см. «Разгадка тайны солнечных нейтрино», «В мире науки», №9, 2003 г.). Нейтрино в миллион раз легче электрона, занимающего второе место среди самых легких частиц. Поскольку они электрически нейтральны, теоретически описать возникновение их масс сложнее, чем в случае заряженных частиц. В массу каждого вида нейтрино вносят вклад

## На *LEP* коллайдере было получено косвенное подтверждение существования бозонов Хиггса.

было получено косвенное подтверждение существования бозона Хиггса: исследователи провели множество точных измерений, результаты которых дополнили сведения, собранные на Теватроне и на коллайдере в Стэнфордском центре линейных ускорителей. Весь набор данных хорошо согласуется с теорией только в том случае, если учитываются некоторые взаимодействия частиц с самым легким бозоном Хиггса, и если он не тяжелее 200 масс протона. Таким образом, мы получаем верхний предел массы бозона, что помогает сократить диапазон поисков.

рый рассчитан на гораздо большую интенсивность, чем Теватрон. Ожидается, что он станет фабрикой бозонов Хиггса и будет производить множество частиц в день. Если *LHC* будет работать как запланировано, то сбор нужных данных и их интерпретация займут пару лет. Для проведения экспериментов, которые позволят окончательно убедиться в том, что масса обусловлена взаимодействием с полями Хиггса, потребуется новый электронно-позитронный коллайдер в дополнение к *LHC* (в котором сталкиваются протоны) и Теватрону (в котором сталкиваются протоны с антипротонами).

### Темное вещество

Наблюдения за бозонами Хиггса не только позволят разобраться в происхождении массы, но и помогут разгадать загадку темной материи. Ключевой частицей ССМ-теорий, связанной с темной материей, является легчайший суперпартнер (ЛСП). Большинство суперпартнеров быстро распадается на суперпартнеры с меньшей массой, причем цепь распадов заканчивается ЛСП, который устойчив, т.к. не существует более легких частиц, на которые он мог бы распасться. (Суперпартнер не может распасть-

### ОБ АВТОРЕ:

**Гордон Кейн** (Gordon Kane) – специалист по теории элементарных частиц, лауреат премии Вайскопфа, профессор физики Мичиганского университета. Он изучает способы проверки и расширения Стандартной модели физики частиц. Кейн занимается физикой полей Хиггса и суперсимметричным расширением Стандартной модели, а также сопоставлением теоретических и экспериментальных космологических данных.

несколько процессов, и по техническим причинам фактическое ее значение получается из решения уравнения, а не просто путем сложения членов.

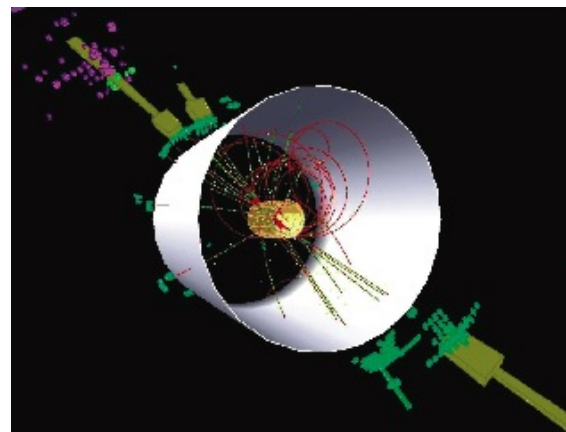
Таким образом, мы разобрали три пути появления массы: основной, хорошо знакомый нам вид массы (масса протонов, нейтронов, а значит, и атомов) обусловлен движением кварков, составляющих протоны и нейтроны. Масса протона была бы примерно такой же даже без поля Хиггса. Однако массы кварков и электронов полностью обусловлены полем Хиггса: без него они были бы равны нулю. И, наконец, большая часть массы суперпартнеров, а значит, и масса частиц темной материи, если она действительно состоит из легчайших суперпартнеров, обусловлена дополнительными взаимодействиями.

В заключение рассмотрим проблему семейств частиц. За последние полвека физики показали, что мир, который мы видим, построен всего из шести частиц: три частицы вещества (верхние кварки, нижние кварки и электроны), два кванта, создающих силы взаимодействий (фотоны и глюоны), и бозоны Хиггса – замечательное и удивительно простое описание. Однако известны еще четыре кварка, две частицы, подобные электрону, и три вида нейтрино. Все они очень короткоживущие или слабо взаимодействующие с другими шестью частицами. Итак, различают три семейства: 1) верхний (*u*) и нижний (*d*) кварки, электронное нейтрино, электрон; 2) очарованный (*c*) и странный (*s*) кварки, мюонное нейтрино, мюон; 3) истинный (*t*) и красивый (*b*) кварки, тау-нейтрино, тау-лептон. Взаимодействия частиц каждого из семейств идентичны и отличаются только тем, что во втором семействе они сильнее, чем в первом, а в третьем – сильнее, чем во втором. Поскольку массы частиц обусловлены полем Хиггса, частицы должны взаимодействовать с ним по-разному.

Следовательно, проблема семейств связана с двумя вопросами. Зачем существуют три семейства, если кажется, что одного вполне хватает для описания видимого нами мира? Почему частицы разных семейств отличаются по массе и имеют именно те массы, которые у них есть? Нет ничего удивительного в том, что физики пытаются понять, почему в природе имеются три почти идентичных семейства частиц. Они хотят до конца разобраться в законах природы, основных ее частицах и силах. Нам нужна теория, в которой все частицы и отношения их масс появляются без каких-либо предварительных предположений о величине масс и без подгонки параметров. Если наличие трех семейств существенно, то это – ключ, значение которого пока не осознано.

### Резюме

Стандартная модель и ССМ могут принять наблюдаемую структуру семейств, но не могут объяснить ее. Утверждается не то, что ССМ *еще не объяснила* структуру семейства, а то, что она *вообще не может* этого сделать. Ценность теории струн не в том, что она может предложить квантовую теорию всех сил, а в том, что она может объяснить, что такое элементарные частицы, почему существуют три семейства и почему разные семейства по-разному взаимодействуют с полем Хиггса. Она допускает возникновение повторяющихся семейств, которые не будут идентичны. Их различия описываются свойствами, не затрагивающими сильные, слабые, электромагнитные и гравитационные силы, но влияющими на взаимодействие с полями Хиггса и соответствующими трем семействам с различными массами. Теория струн допускает много различных структур семейств, и пока никто не знает, почему природа выбрала наблюдаемую нами, а не какую-нибудь другую (см. «Ландшафт теории струн», «В мире науки», №12,



Возможно, что при столкновении позитрона высокой энергии и электрона в детекторе L3 Большого Электрон-Позитронного Коллайдера (LEP) в CERN возник бозон Хиггса. Линии представляют следы частиц. Зеленые и фиолетовые капли и золотые гистограммы изображают количества энергии, поглощенной в слоях детектора от улетающих из реакции частиц. Только объединяя множество таких событий, физики могут заключить, присутствовали ли бозоны Хиггса в некоторых из реакций или все события были произведены другими реакциями, которые лишь имитировали сигналы от бозонов Хиггса.

2004 г.). Данные о массах кварка, лептона и их суперпартнеров помогут нам глубже проработать теорию струн.

Прошло немало времени, прежде чем ученые начали разбираться в природе массы. Без Стандартной модели физики элементарных частиц и развития квантовой теории поля для описания частиц и их взаимодействий физики не могли даже правильно сформулировать вопросы. И хотя происхождение и величины масс пока остаются загадкой, структура, необходимая для их понимания, похожа, уже найдена. Феномен массы невозможно было осмыслить до появления Стандартной модели, ССМ и теории струн. Пока не ясно, дадут ли они исчерпывающие ответы. Так или иначе, масса стала обычной темой исследований в физике частиц. ■

Роберт Соколов

# ПОХОРОНЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Чтобы избежать  
дальнейшего  
нагрева  
атмосферы,  
можно закачивать  
углекислый газ под  
землю. Задача не  
из легких, но игра  
стоит свеч.

Башни десорбции на алжирском газодобывающем предприятии в пустыне Сахара. Здесь углекислый газ химически отделяют от природного газа, направляемого на европейские рынки. Затем  $\text{CO}_2$  закачивают под землю на глубину 2 км.



Из каждого миллиона молекул, вдыхаемых Уильямом Шекспиром, 280 были углекислым газом (CO<sub>2</sub>). Сегодня в каждом нашем вдохе двуокись углерода составляет уже 380 молекул из миллиона, и каждый год ее доля увеличивается на две молекулы.

Никто не знает, каковы будут последствия повышения атмосферной концентрации углекислого газа: человечество проводит неуправляемый эксперимент в масштабах планеты. Как известно, CO<sub>2</sub> способствует нагреванию атмосферы, что, в свою очередь, приводит к повышению уровня Мирового океана и увеличению кислотности воды. Вопрос в том, как в результате изменится глобальный климат, какие экологические системы при этом страдают и как все это сказывается на здоровье и благосостоянии людей. Сейчас человеческий фактор настолько быстро воздействует на климат, что ученые просто не успевают оценить, насколько серьезными могут быть последствия.

Если выяснится, что снизить темпы роста концентрации углекислого газа можно без особого труда, необходимые меры должны быть приняты незамедлительно. В противном случае человечеству придется приспособляться к неизбежным последствиям.

Если сокращение выбросов углекислого газа станет для общества приоритетной задачей, то в будущем можно будет существенно снизить риск экологической катастрофы. Для этого необходимо следовать сразу нескольким стратегиям: сосредоточиться на более эффективном использовании энергии и на замене ископаемого топлива (уголь, нефть и природный газ – главные источники «рукотворной» двуокиси углерода в атмосфере) возобновляемыми источниками энергии. Кроме того, можно улавливать углекислый газ и консервировать его в подземных хранилищах. Вовсе не обязательно выпускать CO<sub>2</sub> в атмосферу,

которая до сих пор была главным могильником вредных выбросов, т.к. продукты сгорания сами удаляются через выхлопные трубы и дымоходы.

Однако есть и хорошая новость: технология улавливания и хранения двуокиси углерода уже существует, а препятствия, мешающие ее применению, вполне преодолимы.

### Улавливание CO<sub>2</sub>

Если автомобиль потребляет 8 л бензина на 100 км, то, чтобы проехать 16 тыс. км, приходится покупать 1280 л, т.е. 1 т бензина. При его сгорании выделяется примерно 3 т углекислого газа, уходящего через выхлопную трубу. Улавливать CO<sub>2</sub> до того, как он покинет машину, и возвращать на автозаправочную станцию практически невозможно. Гораздо легче представить себе улавливание CO<sub>2</sub>, вырабатываемого стационарной электростанцией, на которой сжигается уголь.

Неудивительно, что сегодня улавливать и захоронять углекислый газ пытаются на электростанциях, являющихся источником одной четверти всемирных выбросов двуокиси углерода. Большая электростанция мощностью 1 тыс. МВт, работающая на угле, производит 6 млн. т газа ежегодно (эквивалент выхлопа 2 млн. автомобилей). Общее всемирное производство CO<sub>2</sub> (эквивалент работы 1 тыс. больших электростанций) в следующие десятилетия удвоится, т.к. США, Китай, Индия и другие страны строят новые электростанции (см. стр. 38). Поскольку в ближайшие 25 лет появятся новые работающие на угле предприятия, их лучше спроектировать таким образом, чтобы углекислый газ сразу отфильтровывался. Сегодня энергетические компании могут выбрать один из двух типов систем выработки энергии. Системы третьего типа находятся в стадии разработки. Традиционные угольные паровые электростанции полностью сжига-

ют уголь в воздухе за один этап: выделяющееся тепло превращает воду в пар высокого давления, который вращает паровую турбину с генератором, вырабатывающим электричество. В исходной версии системы (рабочей лошадке угольных электростанций прошлого столетия) смесь отходящих газов после удаления из нее серы выходит при атмосферном давлении через высокую трубу. 15% выбрасываемого газа составляет углекислый газ, все остальное – азот и водяной пар. Чтобы приспособить технологию к отделению CO<sub>2</sub>, можно заменить дымовую трубу поглотительной башней, в которой отходящие газы вступают в контакт с капельками химикалий (аминов), выборочно поглощающих двуокись углерода. Во второй реакционной колонне (в башне десорбции) жидкость, содержащая амины, нагревается, освобождает концентрированный CO<sub>2</sub> и восстанавливает химический поглотитель.

Другая «угольная» система получения энергии известна как комбинированный цикл газификации угля. В нем уголь сначала частично сжигают в камере газификации в присутствии кислорода для того, чтобы получить синтез-газ, состоящий в основном из смеси водорода и окиси углерода (угарного газа). После удаления соединений серы и других примесей смесь синтез-газа с воздухом сжигается в газовой турбине, производящей электричество. Прежде чем попасть в дымовую трубу, горячие выхлопные газы, покидающие газовую турбину, используются для превращения воды в пар, который вращает лопасти паровой турбины, вырабатывающей дополнительную энергию. Для улавливания углерода в такой установке к синтез-газу добавляют пар, чтобы преобразовать большую часть угарного газа в углекислый газ и водород. Перед сжиганием остающегося газа, состоящего главным образом из водорода, ▶

CO<sub>2</sub> отфильтровывают и производят электричество в газовой и паровой турбинах.

Третий подход состоит в сжигании угля в кислороде, а не в воздухе. Один из вариантов – использовать кислород в системах с одноэтапным сжиганием, чтобы в отходящей газовой смеси не было азота, а остался только CO<sub>2</sub> и водяной пар, которые легко разделить. В комбинированном цикле газификации угля можно сжигать в кислороде синтез-газ. При этом исключается реакция преобразования и выделяются только CO<sub>2</sub> и водяной пар. Однако конструкционные материалы, способные противостоять высоким температурам, сопровождающим горение в кислороде, еще не созданы.

### Непростые решения

Улавливание углекислого газа не только повышает сложность и стоимость, но также снижает эффективность извлечения энергии из топлива. Другими словами, для успешного сохранения углеродсодержащих побочных продуктов необходимо добыча и сжигание большего количества угля. Затраты могут быть частично возмещены, если предприятие одновременно отфильтрует серосодержащие газообразные продукты и сохранит их так же, как CO<sub>2</sub>, экономя таким образом значительную часть расходов на удаление серы.

Чтобы максимизировать прибыль за весь срок эксплуатации электростанции (60 лет и более), следует не забывать о затратах на соблюдение не только современных, но и будущих экологических норм. Дополнительные расходы на улавливание CO<sub>2</sub> для предприятий с комплексным циклом газификации угля, вероятно, будут существенно ниже, чем для традиционных электростанций. Удаление углекислого газа при высоких давлениях, как в случае с синтез-газом, обходится дешевле, т.к. не требует установки громоздкого оборудования. Однако сегодня функционируют лишь несколько экспериментальных образцов, так что выбор такой схемы газификации чреват дополнительными расходами на резервное оборудование. Следовательно, чтобы как можно дольше не расходовать средства на борьбу с выбросами CO<sub>2</sub> в атмосферу, следует выбрать традиционную электростанцию, работающую на угле, которую в дальнейшем можно будет оснастить оборудованием для улавливания углерода. Однако если квоты на выбросы парниковых газов появятся в течение ближайшего десятилетия, лучше прибегнуть к схеме с газификацией угля.

Чтобы представить, какие расходы в связи с переходом к стратегии улавливания углекислого газа понесут производители угля, хозяева электростанций и домовладельцы,

необходимо оценить требуемые затраты. Эксперты подсчитали, что дополнительные средства на улавливание и хранение тонны углекислого газа на предприятии с комплексным циклом газификации угля составят примерно \$25. (Для традиционной паровой электростанции эта цифра может оказаться вдвое больше. В обоих случаях сумма станет меньше, когда появится новая технология.)

Производители угля, хозяева электростанций и домовладельцы почувствуют увеличение стоимости по-разному. Поставщикам ископаемого топлива придется платить за улавливание и хранение углекислого газа приблизительно по \$60 за тонну угля, что утроит ее стоимость для владельца электростанции. Последний столкнется с 50%-ным повышением стоимости энергии, отдаваемой в энергосистему (примерно на 2 цента/кВт-ч сверх базовой стоимости 4 цента/кВт-ч). Домовладелец, который покупает электроэнергию, вырабатываемую только угольными электростанциями, и платит в среднем около 10 центов/кВт-ч, испытает повышение цены электричества на одну пятую (если предположить, что дополнительные 2 цента/кВт-ч за улавливание и хранение не будут сопровождаться увеличением платы за передачу и распределение энергии).

### ОБЗОР: ЗАХОРОНЕНИЕ CO<sub>2</sub>

- Улавливание углекислого газа и закачка его в геологические формирования для долгосрочного хранения могли бы замедлить процесс накопления CO<sub>2</sub> в атмосфере.
- Необходимо разработать дешевые технологии отделения двуокиси углерода на электростанциях и накопить опыт закачки ее на глубину не менее 800 м, чтобы в дальнейшем избежать опасных утечек.
- Углекислый газ используется для повышения отдачи сырой нефти на старых нефтяных месторождениях. Очистка природного газа и промышленное производство водорода позволяют получить дешевый CO<sub>2</sub>. Первые проекты, которые связывают эти отрасли промышленности, стимулируют разработку процедур хранения двуокиси углерода.

### Первый и последующие шаги

Промышленные лидеры не дожидаются постройки новых электростанций, а испытывают технологии улавливания и хранения углекислого газа на существующих предприятиях по производству водорода и очистке природного газа (метана) для отопления и выработки энергии. Эти производственные процессы сопровождаются выделением CO<sub>2</sub> в огромных количествах. В установках для промышленного производства водорода, расположенных

Перенесемся в будущее и рассмотрим город около электростанции с газификацией угля мощностью 1 тыс. МВт, которая в течение 10 лет улавливала углекислый газ. Город получает воду из неглубокого водоносного слоя, не затронутого закачкой  $\text{CO}_2$ . Рельсовая дорога транспортирует уголь на электростанцию, а линии электропередачи отводят вырабатываемое электричество. За первые 10 лет работы электростанции было собрано около 60 млн. тонн  $\text{CO}_2$ , размещенного в пористых подземных слоях. Углекислый газ был введен через скважины в две глубокие формации, содержащие рассол и расположенные

под непроницаемым куполом на глубине более 2 км от поверхности. Находящийся под давлением «сверхкритический»  $\text{CO}_2$  плотностью  $0,7 \text{ кг/м}^3$  занимает почти 90 млн.  $\text{м}^3$ . В обоих формированиях 10% объема составляют поры, треть которых заполнена углекислым газом (см. рис.). Две трети введенного газа были закачаны в верхнюю формацию толщиной 40 м, а одну треть направили в нижнюю формацию толщиной 20 м. В результате полная (горизонтальная) площадь пористой горной породы, пропитанной сверхкритическим углекислым газом, в каждой формации составляет около  $40 \text{ м}^2$ .

Обратите внимание, что горизонтальные и вертикальные

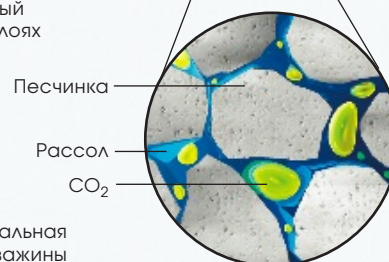
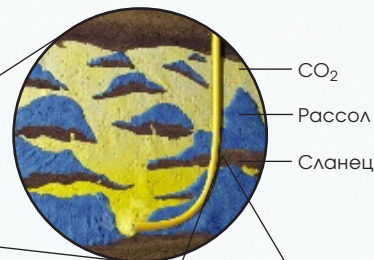
масштабы изображения различаются. Глубина каждой инъекционной скважины и длина их горизонтальных продолжений на самом деле примерно равны и составляют около 2 км.

Специалисты станции сейсмического контроля следят за расположением  $\text{CO}_2$ , зондируя землю звуковыми волнами. За первое десятилетие работы электростанции они многое узнали о местной геологии, наблюдая, как углекислый газ распространяется в подземном «резервуаре». Накопленная информация поможет решить, продолжать ли закачку выбросов станции в старые скважины, бурить новые к тем же формациям или переключиться на другие подземные области.

### ЗАКАЧИВАНИЕ $\text{CO}_2$

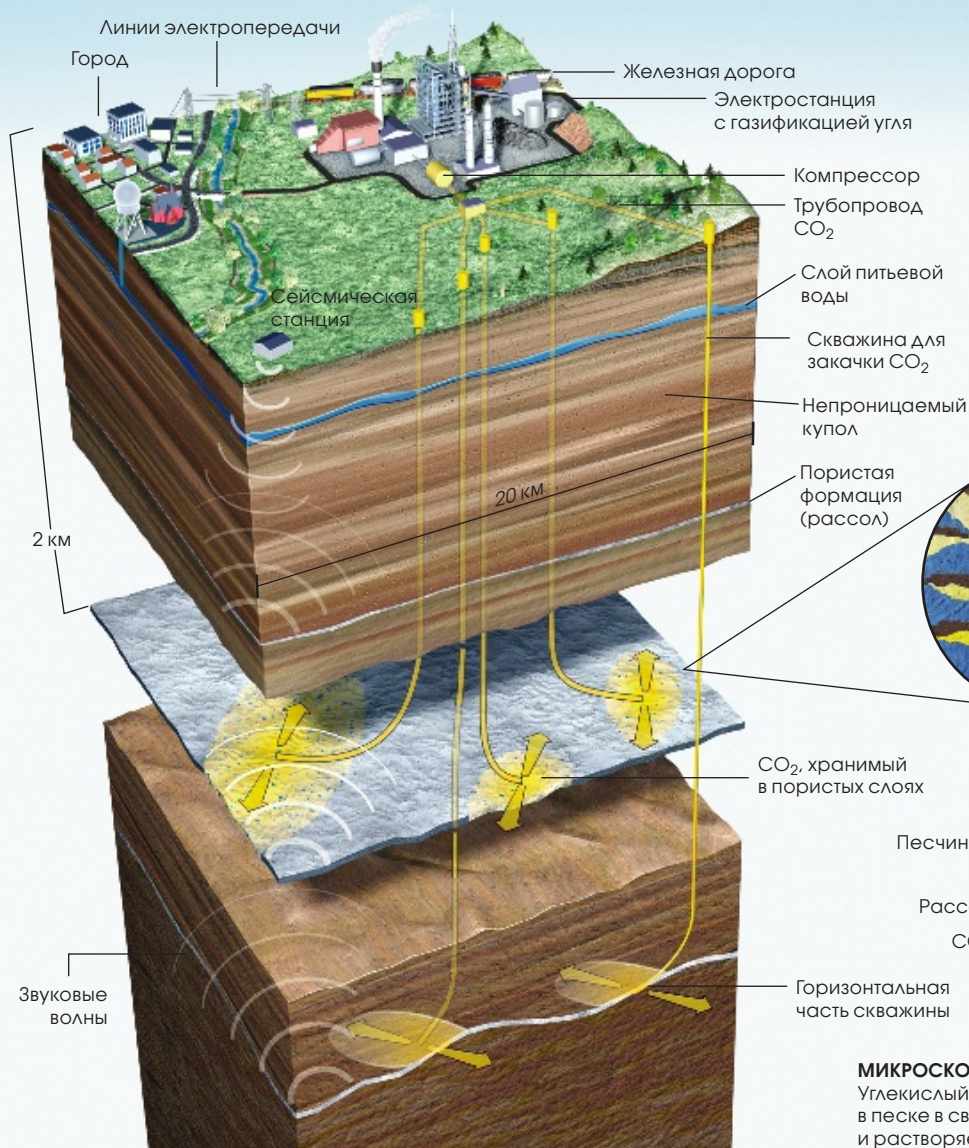
#### МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

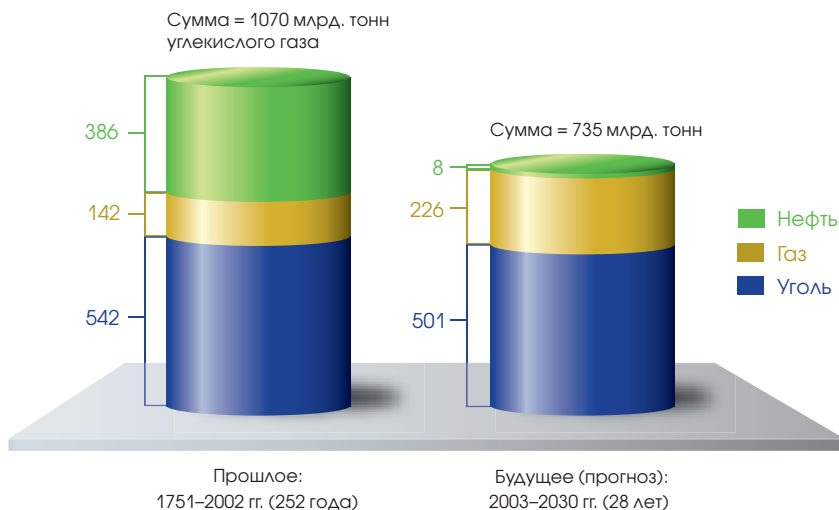
Закачанный углекислый газ в сверхкритическом состоянии распространяется через большую часть пористой песчаной формации, поры которой были когда-то заполнены рассолом. Перегородки из твердого сланца в песке помогают рассеивать плавучий  $\text{CO}_2$ .



#### МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ ВИД

Углекислый газ не только занимает поры в песке в сверхкритической фазе, но и растворяется в остающемся рассоле.





Выбросы углекислого газа от сжигания каменного угля на электростанциях, которые предполагается построить в ближайшие 25 лет, за весь срок их эксплуатации будут сопоставимы со всеми выбросами за предыдущие два с половиной столетия. Левый столбик показывает совокупный выброс углекислого газа от сжигания угля, нефти и природного газа для всех применений (включая транспорт и обогрев зданий) с 1751 по 2002 г., а справа показаны выбросы CO<sub>2</sub> за срок эксплуатации электростанций на ископаемом топливе, которые, как планирует Международное агентство энергетики, войдут в строй до 2030 г. Предполагается, что работающие на угле электростанции будут действовать в течение 60 лет, а электростанции на газе – в течение 40 лет.

## ОБ АВТОРЕ:

**Роберт Соколов** (Robert H. Socolow) – профессор машиностроения и космической техники Принстонского университета. Он преподает в Школе технических и прикладных наук и в Школе общественных и международных отношений им. Вудро Вильсона. Физик по образованию, Соколов является ведущим исследователем по теме «Снижение выбросов углерода», поддерживаемой компаниями *British Petroleum* и *Ford*; работа направлена на глобальное управление кругооборотом углерода, на развитие водородной экономики и сокращение добычи ископаемого угля.

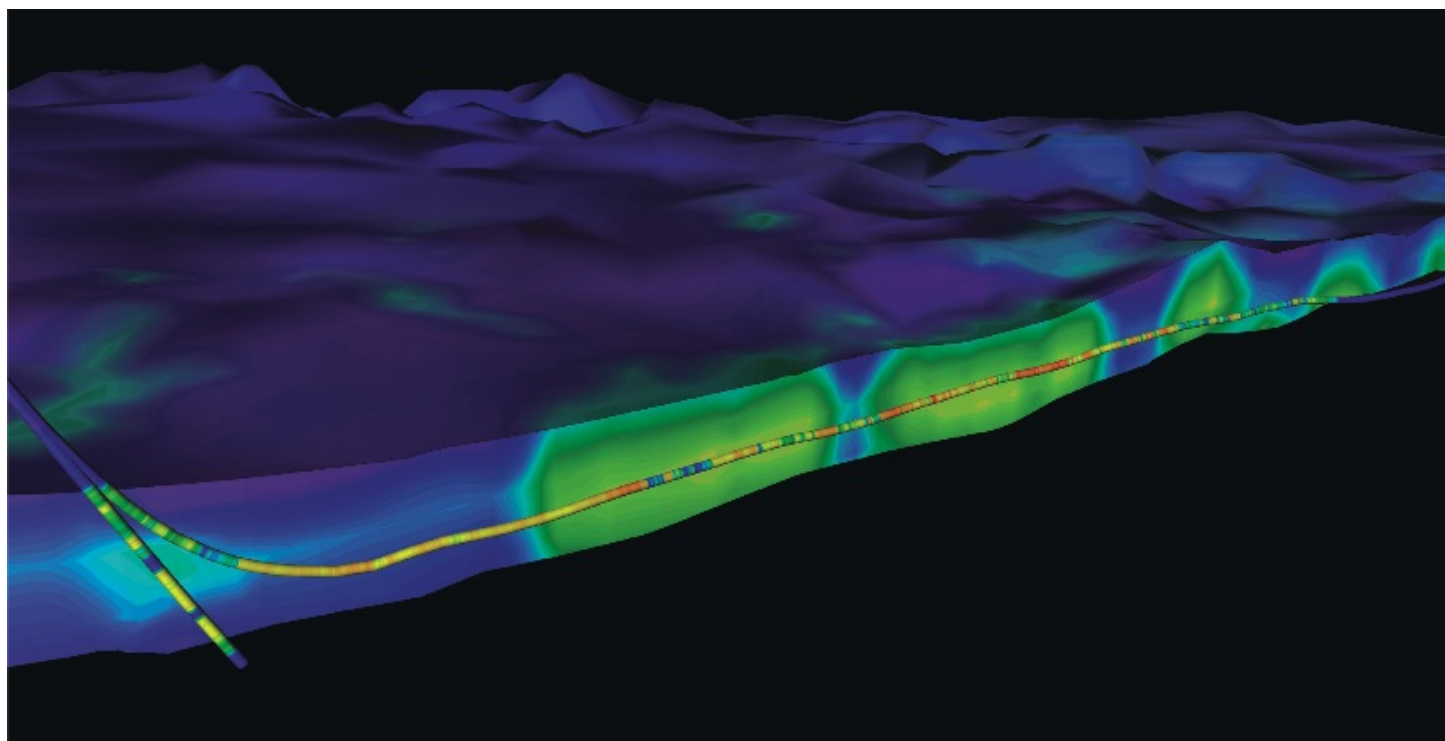
на заводах по очистке нефти и получению аммиака, углекислый газ удаляют из находящейся под высоким давлением смеси CO<sub>2</sub> с водородом, причем двуокись углерода выпускается в атмосферу. На заводах по очистке природного газа из него удаляют CO<sub>2</sub>, чтобы метан, поступающий в танкер со сжиженным природным газом, не содержал холодной твердой углекислоты (сухой лед), которая может забить систему, и чтобы концентрация CO<sub>2</sub> не превышала 3% (требование сети распределения природного газа).

Сейчас в нефтегазовой промышленности рассматривается несколько проектов улавливания углекислого газа, поступающего из перечисленных источников. Производство водорода и очистка природного газа – первые шаги к полномасштабному улавливанию углекислого газа на электростанциях.

Рост спроса на импортную нефть в некоторых странах, например, в Китае, привел к использованию угля в качестве сырья для производства синтетического топлива, заменяющего бензин и солярку. С точки зрения изменения климата – это шаг назад. Если учесть выхлопы автомобилей и выбросы заводов по производству такого топлива, то можно сказать, что при его сжигании в атмосферу попадает вдвое больше углекислого газа, чем при использовании бензина. При получении синтетического топлива в него переходит лишь половина углерода из угля, а все остальное выбрасывается в заводскую трубу. Завод по производству топлива можно спроектировать таким образом, чтобы выбрасываемый CO<sub>2</sub> улавливался. В будущем автомобили будут приводиться в движение электричеством или не содержащим углерода водородом, получаемым на заводах, оснащенных оборудованием для улавливания двуокиси углерода.

Электроэнергию также можно получать из биомассы: зерновых культур, отходов древесной и бумажной промышленности и т.п. Если пренебречь ископаемым топливом, используемым при сборе и обработке урожая, то обмен между атмосферой и землей будет сбалансирован, т.к. количество углекислого газа, выделяемого традиционной электростанцией на основе биомассы, почти равно его количеству, удаляемому из атмосферы при фотосинтезе в процессе роста растений. Но если биоэлектростанции оснастить оборудованием для улавливания углекислого газа, а биомассу из собранной растительности использовать повторно, то в итоге можно заметно снизить концентрацию CO<sub>2</sub> в воздухе. К сожалению, низкая эффективность фотосинтеза ограничивает возможность очистки атмосферы, т.к. требует слишком больших участков земли для выращивания деревьев и зерновых культур. Однако новые технологии мо-





гут изменить ситуацию. Вероятно, когда-нибудь станет возможным и более эффективное удаление углекислого газа зелеными растениями и непосредственное удаление его из атмосферы (например, пропусканием воздуха над химическим поглотителем).

### Хранение углекислого газа

Улавливание углекислого газа — лишь половина работы. Если энергетическая компания построит угольную электростанцию мощностью 1 тыс. МВт, рассчитанную на улавливание CO<sub>2</sub>, инженерам придется задуматься о том, где прятать 6 млн. тонн газа в год на протяжении всего срока эксплуатации. Ученые полагают, что в большинстве случаев наиболее удачным местом станут подземные губчатые осадочные породы, поры которых заполнены рассолом (соленой водой). Подходящие участки должны лежать гораздо ниже любого источника питьевой воды, т.е. по крайней мере в 800 м от поверхности. Давление на такой глубине в 80 раз больше атмосферного, чего вполне достаточно, чтобы CO<sub>2</sub>

Пористость геологической формации вблизи от скважины (тонкая труба) для введения углекислого газа на участке Кречба в алжирской пустыне показана разными цветами: красный и желтый представляют области высокой пористости участка толщиной 20 м, а синий указывает области низкой пористости. Инженеры *British Petroleum* использовали грубую карту геологических слоев, которая была получена в результате сейсмической эхолокации, чтобы решить, где лучше всего разместить скважину. Скважинный электрический датчик дал более подробное описание пористости (изображено цветными бусинками), что позволило выявить пористость в пределах нескольких сантиметров от скважины. Инженеры использовали более точные данные, чтобы направить бурильную установку к участкам с высокой пористостью.

перешел в сверхкритическое состояние, в котором его плотность почти равна плотности рассола. Иногда в формированиях с рассолом можно обнаружить сырую нефть и природный газ, попавшие туда миллионы лет назад.

Количество углекислого газа, отправленного под землю, можно выражать в баррелях, т.е. в стандартных единицах объема, используемых в нефтяной промышленности (1 баррель = 159 л). Каждый год на угольной электростанции мощностью 1 тыс. МВт надо будет сохранять 50 млн. баррелей сверхкритического углекислого газа (около 100 тыс. баррелей в день). За 60 лет

работы под землей придется разместить 3 млрд. баррелей (0,5 км<sup>3</sup>) CO<sub>2</sub>. Месторождение, способное выдать 3 млрд. баррелей нефти, в шесть раз больше наименьшего из так называемых гигантских (всего их не более 500). Таким образом, каждая большая модифицированная угольная электростанция должна быть связана с гигантским хранилищем CO<sub>2</sub>. На сегодняшний день 2/3 из 1 тыс. млрд. баррелей нефти, добытой во всем мире, поступило именно с гигантских месторождений, так что у промышленности есть большой опыт работы в масштабах, необходимых для хранения углекислого газа. ▶

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СХЕМЫ ХРАНЕНИЯ CO<sub>2</sub>

Захваченный углекислый газ может сохраняться не только в истощенных нефтяных и газовых месторождениях и подземных формациях с рассолом, но и в слоях минералов, которые могут образовывать карбонаты, в угольных пластах и в глубинах океана.

Минералы, которые могут превращаться в карбонаты, в принципе, способны связывать даже больше углекислого газа на поверхности земли, чем формирования с рассолом под землей. Окись магнезия, содержащаяся в двух распространенных железо-магниевого минералах, змеевике и оливине, соединяются с CO<sub>2</sub>, образуя очень устойчивый карбонат магнезия. Главная задача – заставить двуокись углерода быстро реагировать с большим количеством этой породы, возможно, размалывая ее в мелкий порошок, чтобы увеличить поверхность, на которой идут химические реакции.

Поверхность пор внутри угольных формирований адсорбирует метан. Во время горных работ часть этого газа может высвободиться, часто вызывая подземные взрывы, что приводит к гибели шахтеров. Углекислый газ под давлением можно было бы вводить в неразрабатываемые угольные слои, где он мог бы заменять собой адсорбированный метан, который можно было бы собирать и продавать как топливо.

Закачивание углекислого газа в океан вызывает споры. Сторонники хранения в глубинах океана указывают, что атмосферный CO<sub>2</sub> непрерывно поступает к поверхности океана, так что воздух и океан поддерживаются в химическом равновесии. Замедление роста уровня CO<sub>2</sub> в воздухе уменьшит количество газа, растворяющегося в поверхностных слоях воды. Поэтому закачивание углекислого газа в глубины океана переместит некоторое его количество из поверхностных вод в самые глубинные слои, уменьшая экологическое воздействие около поверхности, где располагается большая часть морской жизни. Противники океанического хранения ссылаются на международное право, защищающее океаны от некоторых видов индустриального использования, и упоминают о трудностях контроля за перемещениями углекислого газа после его закачки.

Первыми могильниками для углекислого газа станут участки, которые уже находятся в эксплуатации. Среди них – старые месторождения нефти, в которые можно вводить углекислый газ, чтобы повысить отдачу сырья. Так называемый процесс интенсификации отдачи нефти основан на том, что под давлением CO<sub>2</sub> химически и физически вытесняет труднодоступную нефть, оставшуюся в порах геологических слоев после первых стадий добычи. Компрессоры закачивают углекислый газ в сырую нефть, которая в ходе химических реакций изменяется и затем перемещается сквозь пористую породу к нефтедобывающим скважинам. В частности, CO<sub>2</sub> понижает контактное поверхностное натяжение сырой нефти (вид поверхностного натяжения, определяющего величину трения между нефтью и породой). Таким образом, углекислый газ помогает вдохнуть в старые нефтяные месторождения новую жизнь.

В ответ на поддержку британским правительством усилий по сбору и захоронению углекислого газа нефтяные компании предлагают новые проекты улавливания на электростанциях, работающих на природном газе, и повышения отдачи нефти на участках, расположенных под Северным морем. В США владельцы таких месторождений уже сегодня могут получать прибыль, даже если им придется платить от \$10 до \$20 за тонну углекислого газа, закачиваемого в скважину. Однако если цены на нефть по-прежнему будут расти, стоимость вводимого CO<sub>2</sub>, вероятно, тоже повысится.

Улавливание углекислого газа на нефтяных и газовых месторождениях, вероятнее всего, будет идти бок о бок с развитием его хранения в обычных геологических формированиях, заполненных рассолом, т.к. такие структуры встречаются гораздо чаще. Геологи надеются найти достаточно природных ем-

костей для хранения большей части углекислого газа, который выделится при сжигании ископаемого топлива в XXI в.

### Риск хранения

Для каждого хранилища существует два вида риска: постепенная и внезапная утечка. В результате постепенной утечки часть парникового газа просто возвращается в атмосферу. А вот быстрое освобождение больших объемов CO<sub>2</sub> может повлечь гораздо худшие последствия. Хранилище должно быть таким, чтобы постепенная утечка происходила медленно, а внезапная была чрезвычайно маловероятной.

Хотя углекислый газ обычно безопасен, большой и быстрый его выброс может обернуться катастрофой. В 1986 г. в Камеруне произошло ужасное природное бедствие: углекислый газ вулканического происхождения медленно просачивался сквозь дно озера Ниос, расположенного в кратере. Однажды ночью резкое опрокидывание основания озера привело к освобождению 200 тыс. тонн двуокиси углерода. Газ стек вниз через две долины (CO<sub>2</sub> тяжелее воздуха), и 1700 сельских жителей погибли от удушья.

Постепенные утечки не опасны для жизни, однако снижают эффективность улавливания углекислого газа, призванного уменьшить его влияние на климат. Поэтому исследователи изучают условия, приводящие к медленным утечкам. Углекислый газ, плавающий в рассоле, будет подниматься, пока не достигнет непроницаемого геологического слоя-купола.

Двуокись углерода в порах породы подобна сотням воздушных шариков, наполненных гелием, а твердый купол похож на свод цирка. Шарик может ускользнуть, если в куполе есть разрывы или его поверхность наклонена. Геологам придется искать разрывы в куполе, через которые мог бы уходить газ, а также определять величину давления за-



качки, которое могло бы разрушить купол.

Не следует забывать и об очень медленном горизонтальном потоке углекислого газа, направленном от точек его закачки. Часто осадочные формирования похожи на огромные тонкие блины. Если углекислый газ вводится вблизи середины такого блина, имеющего лишь небольшой наклон, газ может не достигнуть края в течение десятков тысяч лет. Исследователи надеются, что к тому времени большая часть газа растворится в рассоле или окажется захваченной порами.

Даже если геологические условия благоприятны, использование для хранения формирований, в которых есть старые скважины, может быть проблематичным. Например, в штате Техас просверлено более миллиона скважин, многие из них были залиты цементом и оставлены. В принципе, кислотный рассол с  $\text{CO}_2$  может найти путь от места закачки к заброшенной скважине, разесть цементную пробку и просочиться на поверхность. Чтобы изу-

Подземное хранение углекислого газа осуществляется сегодня в газовом проекте Айн Салах в алжирской пустыне. Сырой природный газ, добываемый на этом участке фирмами *British Petroleum*, *Statoil* и *Sonatrach*, содержит слишком много  $\text{CO}_2$  для коммерческого использования, так что избыток удаляется химическими поглотителями (две пары башен десорбции в центре завода), сжимается и затем вводится под давлением в формацию с рассолом на двухкилометровую глубину. Закачка под землю производится со скоростью, которая лишь в шесть раз меньше той, которая потребовалась бы на гигаваттной электростанции с газификацией угля.

чить этот механизм, исследователи подвергают цемент действию рассола и берут пробы старого цемента из скважин. В карбонатных формированиях такой вид разрушения менее вероятен, чем в песчанике, т.к. карбонаты уменьшают активность соленой воды.

Правительства разных стран должны решить, как долго следует обслуживать могильники  $\text{CO}_2$ . Строго следуя экологической этике, власти могли бы отказаться утверждать проект хранилища, в котором углекислый газ будет сохраняться не более 200 лет. Однако одобрить его все же можно, если понадеяться, что через два столетия будет изобретен гораздо луч-

ший способ борьбы с углекислым газом.

Ближайшие несколько лет станут критическими для разработки методов улавливания и консервации углекислого газа, т.к. вырабатывается политика, которая делает сокращение выбросов  $\text{CO}_2$  выгодным. Кроме того, начинается лицензирование участков, подходящих для могильников. Таким образом, повышение эффективности выработки и использования энергии, переход к использованию возобновляемых источников энергии, совершенствование ядерной энергетики и мероприятий по улавливанию и хранению  $\text{CO}_2$  помогут заметно снизить риск глобального потепления. ■

Джон Хорнер,  
Кевин Пэдиан,  
Арман де Рикле

КАК СТАТЬ  
ГИГАНТОМ?

ОПЫТ

ДИНОЗАВРОВ



Для того чтобы достичь окончательных размеров *Brachiosaurus*, одному из самых крупных динозавров понадобилось порядка 20 лет, а *Microaptor*, который был размером с цыпленка, – гораздо меньше. Ученые научились измерять возраст вымерших животных по годичным линиям в ископаемых костях, а также путем измерения скорости роста костной ткани у современных животных.



**М**ир динозавров был миром великанов. Так, *Tyrannosaurus rex* размерами не уступал африканскому слону, а *Brachiosaurus* и остальные гигантские зауроподы были намного крупнее любого из ныне живущих наземных животных.

До недавнего времени было непонятно, как правильно оценить возраст динозавра. Большинство палеонтологов полагало, что поскольку они относятся к рептилиям, то и растут так же медленно на протяжении всей жизни. Следовательно, логично было предположить, что древние ящеры доживали до солидных лет, правда, не ясно, до каких именно, поскольку ни одно из современных пресмыкающихся не достигает таких размеров, а потому сравнивать не с чем.

В 1842 г. английский палеонтолог Ричард Оуэн (Richard Owen) придумал термин *Dinosauria* – так он назвал крупных вымерших существ, принадлежавших к малочисленной группе рептилий. Причем ученый имел в виду только наземных животных (в отличие от обитавших в морях ихтиозавров и плезиозавров, известных науке с начала XIX в.). В отличие от современных пресмыкающихся, у них было не два, а пять крестцовых позвонков, а их конечности располагались не по сторонам от туловища, а снизу. Несмотря на эти отличия, считал

Оуэн, анатомические особенности их костей – форма, суставы и характер прикрепления мышц – говорили о том, что это все же рептилии, то есть холоднокровные животные с замедленным метаболизмом. Созданный исследователем образ закрепился, и вплоть до 60-х гг. XX в. динозавров представляли медлительными, неуклюжими созданиями, которые не спеша вырастали до огромных размеров.

Исследователи давно знали, что кость растет примерно таким же образом, как дерево, образуя годовичные кольца, но лишь во второй половине XX в. они начали использовать эти и другие особенности строения остова для определения механизмов роста доисторических животных.

### Кости рассказывают правду

В скелете динозавров каждый год образовывался новый слой костной ткани, похожий на годовичные кольца на стволе дерева. Однако на этом сходство заканчивается. Если спилить дерево и сосчитать линии, можно проследить всю историю роста и развития растения. Новая древесина образуется снаружи, а внутри остаются омертвевшие слои. В кости же все наоборот – ее сердцевина представляет собой живую структуру. Клетки, называемые остеокластами, растворяют внутреннюю костную ткань и высвобождают содержащиеся в ней веще-

ства для повторного использования, в результате в сердцевине длинных костей, таких как бедро или голень, образуются пустоты. Внутренняя часть кости, или костномозговой канал, служит также и фабрикой по производству красных кровяных клеток (см. стр. 45). Новая же ткань откладывается снаружи. Причем рост длинных костей происходит также на концах диафизов. Тем временем внутри костномозгового канала остеокласты растворяют костные образования, сформированные на заре жизни особи, а другие клетки образуют вторичную ткань на внутренней поверхности полости или же проникают в наружные слои кости, преобразовывая ее структуру.

Данные процессы фактически уничтожают первоначальную кость, поэтому невозможно просто распиливать часть скелета динозавра и подсчитать число «годовых колец», определить его возраст. Ученые пошли иными путями. В частности, взялись за исследование останков молодых особей, в которых еще сохранились ткани, разрушенные у взрослых. Подсчитав линии и сравнив их количество с теми, что имеются в костях старых животных, можно определить, какие слои и за сколько лет жизни в них отсутствуют. Если же сравнивать не с чем, можно определить количество напластований путем «обратного подсчета», исходя из расстояния между сохранившимися линиями.

Недавно ученые применили данный метод в ходе изучения остова самого известного динозавра, *T. rex*. В Музее Скалистых гор Университета штата Монтана хранится множество фрагментов скелетов этих гигантских плотоядных животных, в том числе 7 относительно хорошо сохранившихся задних конечностей.

Исследователи сняли с них шлифы – тончайшие пластинки, которые можно рассматривать под микроскопом. На спилах костей *T. rex* удалось обнаружить лишь от 4 до

### ОБЗОР: БЫСТРО ВЫРАСТИ ДО ГИГАНТСКИХ РАЗМЕРОВ

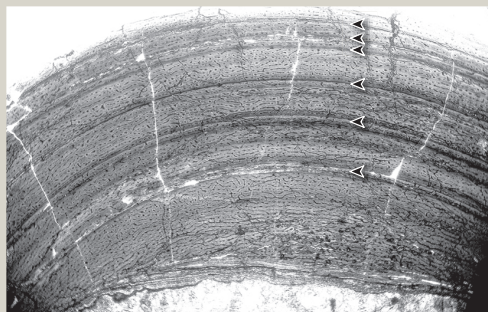
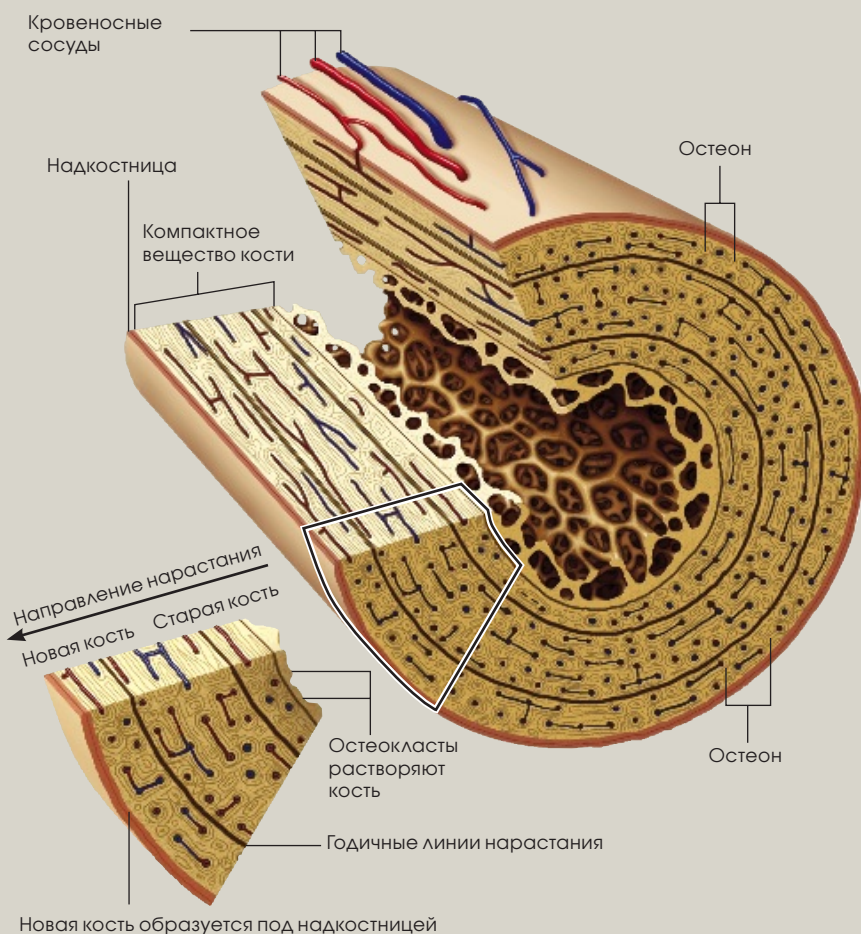
- До недавнего времени не существовало способов определить возраст динозавров и выяснить, насколько быстро они росли.
- Многие кости этих животных имеют линии нарастания, напоминающие годовичные кольца на спиле дерева.
- Исследуя линии и другие образования внутри кости, ученые доказали, что динозавры росли быстро – примерно так же, как современные птицы и млекопитающие, и совсем не так, как рептилии.
- Стремительный рост говорит о том, что ископаемые создания обладали высоким уровнем метаболизма – приблизительно таким же, как у теплокровных животных, а не как у холоднокровных.

8 линий нарастания, причем те, что располагались ближе к центру, были плохо видны из-за развития вторичной костной ткани. Еще более удивительно то, что костномозговой канал у этих динозавров настолько широк, что для его образования должно было рассосаться до 2/3 исходного костного вещества. Было также обнаружено, что у некоторых особей ближе к наружной поверхности кости расстояние между линиями резко сокращалось, причем то же самое наблюдалось и ранее, в том числе у растительноядного утконосного динозавра *Maiasaura*. Это свидетельство того, что период активного роста закончился и животное достигло своего окончательного размера.

С помощью метода обратного подсчета ученые получили следующие данные: *T. rex* становился взрослым к 15–18 годам, к этому времени высота его бедра составляла 3 м, длина тела – 11 м, а вес – от 5 до 8 т (аналогичные результаты одновременно получил также Грегори Эриксон (Gregory M. Erickson) и его коллеги из Университета штата Флорида. Похоже, что развивались монстры быстро, по крайней мере, гораздо быстрее, чем любые другие современные или вымершие рептилии.

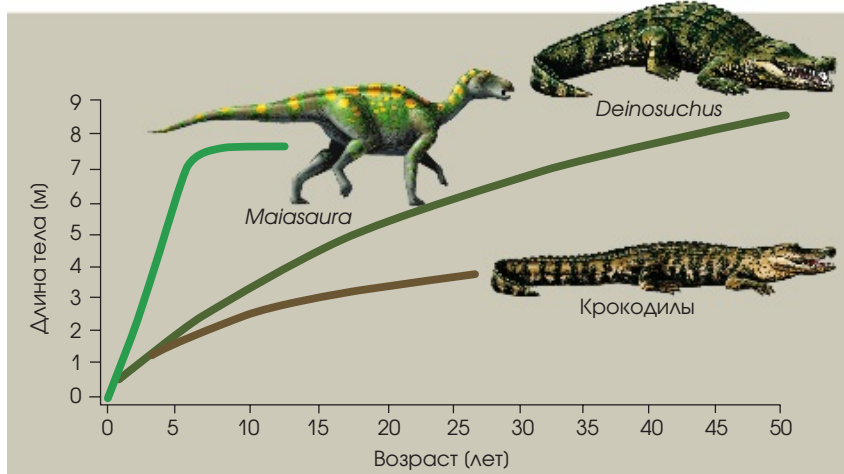
Например, Эриксон и Кристофер Брочу (Christopher A. Brochu) из Университета Айовы определили скорость роста гигантского крокодила *Deinosuchus*, который жил в меловой период примерно 75–80 млн. лет назад. Считается, что эти гигантские рептилии достигали длины 10–11 м. Исследуя линии нарастания на роговой броне, защищающей их шею, палеонтологи определили, что для этого им требовалось 50 лет – в 3 раза больше, чем нужно было *T. rex*, чтобы достичь аналогичных размеров. Отчасти скорость роста нашего динозавра можно сравнить с тем, как набирает вес африканский слон, который к 25–35 годам весит 5–6,5 т. *T. rex* рос чуть быстрее. ▶

В костях динозавров имеются линии нарастания, в чем-то сходные с годовыми кольцами в древесине, но интерпретировать их труднее. Плотное вещество кости состоит из таких минеральных веществ, как фосфат кальция и белков, а также коллагена, которые доставляются на место роста по кровеносным сосудам. Когда сосудистые каналы начинают изнутри заполняться костной тканью, откладывающейся концентрическими слоями, то образуются так называемые остеоны. В бедренной и других длинных костях дальнейший рост происходит непосредственно под пленкой, надкостницей. В то же время клетки, называемые остеокластами, растворяют старую кость изнутри. Остеоны могут образовываться вторично внутри уже сформировавшейся кости, при этом старое костное вещество разрушается и откладывается новое. Ученые не имеют возможности определить возраст животного по шлифу кости, но могут получить такую информацию, исследуя кольца и другие особенности строения.



### ЛИНИИ НАРАСТАНИЯ

На фотографии показан шлиф бедренной кости не крупного плотоядного динозавра *Troodon*, на котором видны годовые отложения (обозначены стрелками). Они тесно прилегают ближе к наружным слоям кости, которые были сформированы позднее, когда рост животного замедлился.



Графики скорости роста показывают, что даже самые крупные динозавры достигали своих гигантских размеров менее чем за 20 лет.

Дальнейшие исследования показали, что *T. rex* не исключение среди динозавров, более того, он рос даже немного медленнее, чем другие гиганты. Анушуа Чинсами-Тюран (Anusuya Chinsamy-Turan) из Кейптаунского университета в Южной Африке обнаружила, что травоядный *Massospondylus* до-

стигал 2–3 м примерно за 15 лет. Эриксон, а также Татьяна Туманова из Палеонтологического института в Москве пришли к выводу, что некрупный цератопс (рогатый динозавр) *Psittacosaurus* становился взрослым к 13–15 годам. Утконосый *Maiasaura* входил в период зрелости уже к 7–8 годам и к этому времени

превращался в 7-метрового гиганта. Однако огромные зауроподы (подобные бронтозаврам) опередили всех остальных: Мартин Зандер (Martin Sander) из Боннского университета в Германии доказал, что организм *Janenschia* полностью сформировывался к 11 годам, хотя продолжал расти и дальше. Фредерик Римбл-Бали (Frédérique Rimblot-Baly) со своими коллегами из VII Парижского университета определила, что *Lapparentosaurus* вырастал до окончательных размеров к 20 годам. Кристина Роджерс (Kristina Curry Rogers) из Музея науки в Миннесоте обнаружила, что *Apatosaurus* (более известный как *Brontosaurus*) становился взрослым к 10 годам, прибавляя в весе по 5,5 т в год.

### Внутри костей

Типичная длинная кость динозавра состоит в основном из так называемой фиброламеллярной ткани: она имеет волокнистую текстуру и об-

## ПЕРВЫЕ ПТИЦЫ

Позволяют ли новые сведения получить дополнительную информацию об эволюции птиц и динозавров? Почему, например, птицы гораздо мельче динозавров? Изменилась ли скорость их роста? Мы исследовали костные ткани *Confuciusornis*, доисторической птицы эпохи раннего мела (125 млн. лет назад), обнаруженной на территории Китая и стоящей на родословном древе сразу за археоптериксом, первым из известных нам пернатых. *Confuciusornis* был размером с ворону, внутренняя часть его кости (как и у других динозавров) состояла из быстрорастущей фиброламеллярной ткани, однако ближе к поверхности она заменялась медленно растущими образованиями – признак того, что после короткого рывка в юном возрасте рост замедлялся. Мы сравнили эти данные с костными тканями некрупного хищного динозавра *Troodon*, достигавшего около 1,5 м в длину, – его изучал Дэвид Варриччио (David J. Varricchio) из Университета штата Монтана. Результаты исследования говорят о том, что он постоянно и быстро рос.

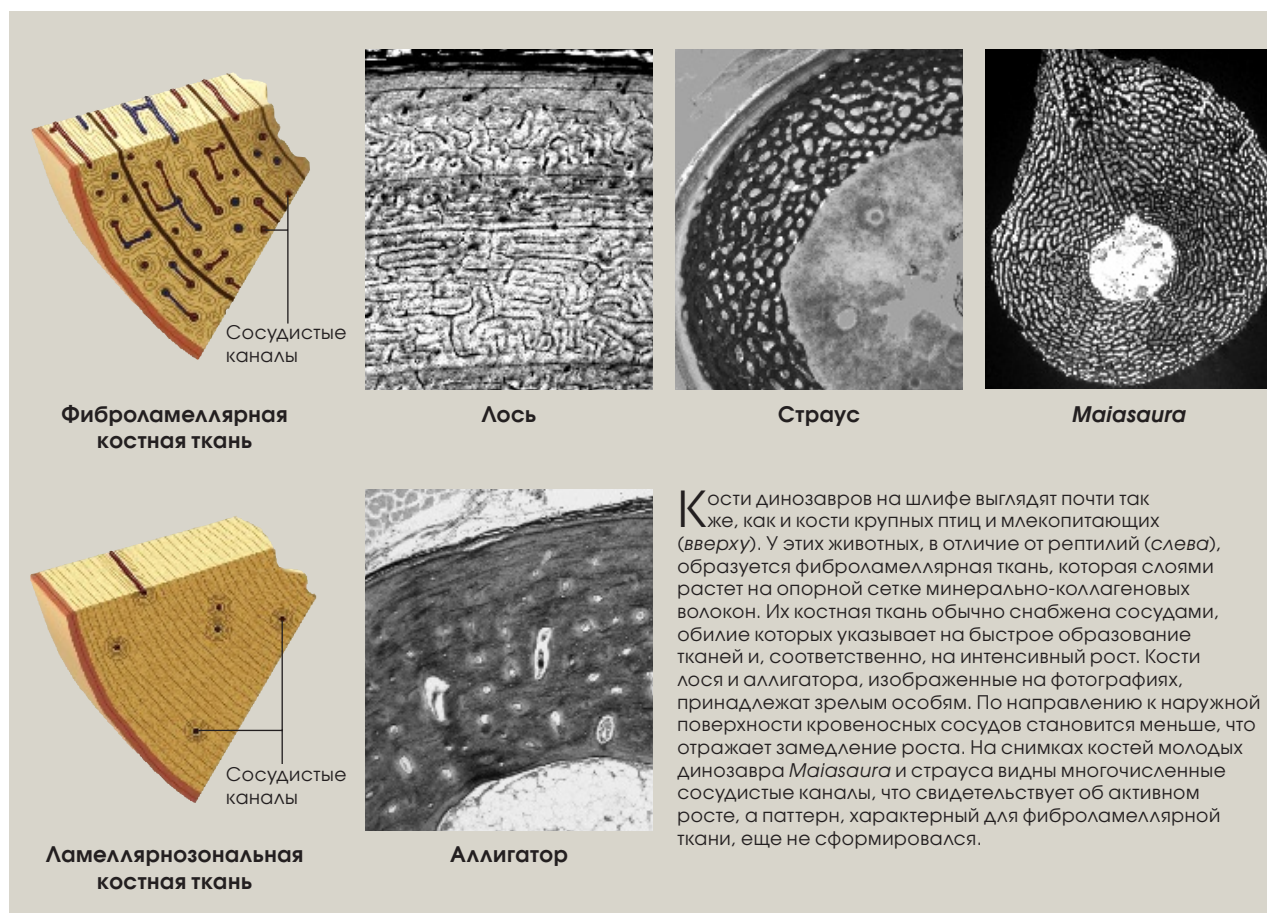
Как можно заключить на примере *Confuciusornis*, у ископаемых птиц период интенсивного роста в юности был недолог, что и привело к их миниатюризации. Уменьшение размеров оказало существенное влияние на локомоцию, поскольку перья, которые имелись и на передних конечностях ближайших родственников птиц среди динозавров, в этом случае становились пригодными для освоения полета. Маленькие существа быстрее хлопают крыльями, чем крупные; кроме того, у мелкой особи нагрузка на крыло (соотношение веса тела

к площади крыльев, показывающее, какой вес приходится на единицу площади) пропорционально меньше и более выгодна с точки зрения аэродинамики.

Однако современные птицы достигают своего окончательного размера быстро, обычно за несколько недель или месяцев. Что изменилось? Вероятно, замедлив в ходе эволюции скорость роста, птицы позднее снова ее увеличили и стали развиваться быстрее своих вымерших предков. Несколько лет назад Анушуа Чинсами-Тюран, сотрудница Кейптаунского университета, со своими коллегами изучила костные ткани ископаемых птиц позднего мелового периода, стоящих в эволюционном ряду после *Archaeopteryx* и *Confuciusornis*. Это были представители примитивной группы *Enantiornithine*, бескрылые *Patagopteryx*, ныряющие *Hesperornis* и напоминавшие крачек *Ichthyornis* (см. врезку на стр. 48–49). Они тоже росли медленнее, чем динозавры, однако виды, находящиеся ближе к современным пернатым, обладали тканями, указывающими на более быстрый рост, чем у самых первых птиц.

На рубеже мелового и третичного периода, примерно 65 млн. лет назад, птицы стали расти значительно быстрее – настолько, что все современные виды, даже страус, достигают размера взрослой особи менее чем за год (например, воробей – всего за семь дней). Лишь изучение властителей неба раннего третичного периода позволит нам узнать, обрели ли современные птицы привычку к быстрому росту постепенно или же это был резкий скачок в развитии.





Кости динозавров на шлифе выглядят почти так же, как и кости крупных птиц и млекопитающих (вверху). У этих животных, в отличие от рептилий (слева), образуется фиброламеллярная ткань, которая слоями растет на опорной сетке минерально-коллагеновых волокон. Их костная ткань обычно снабжена сосудами, обилие которых указывает на быстрое образование тканей и, соответственно, на интенсивный рост. Кости лося и аллигатора, изображенные на фотографиях, принадлежат зрелым особям. По направлению к наружной поверхности кровеносных сосудов становится меньше, что отражает замедление роста. На снимках костей молодых динозавра *Maiasaura* и страуса видны многочисленные сосудистые каналы, что свидетельствует об активном росте, а паттерн, характерный для фиброламеллярной ткани, еще не сформировался.

разуется вокруг рыхлой, хаотичной сети коллагеновых волокон, пронизанной кровеносными сосудами. Такой тип ткани характерен для костей крупных птиц и млекопитающих, достигающих своих максимальных размеров быстрее, чем обычные рептилии. С другой стороны, скелет крокодила сформирован преимущественно из ламеллярнозональной ткани – плотного, высокоминерализованного костного вещества, волокна в ней расположены более упорядоченно, а кровеносных сосудов меньше и они тоньше. Более того, линии нарастания в костях крокодила располагаются теснее, чем у динозавра, что говорит о том, что и росли они медленнее (см. врез вверху).

Родольфо Амприно (Rodolfo Amprino) из Туринского университета в Италии отмечал в 40-х гг. XX в., что тип ткани, из которой

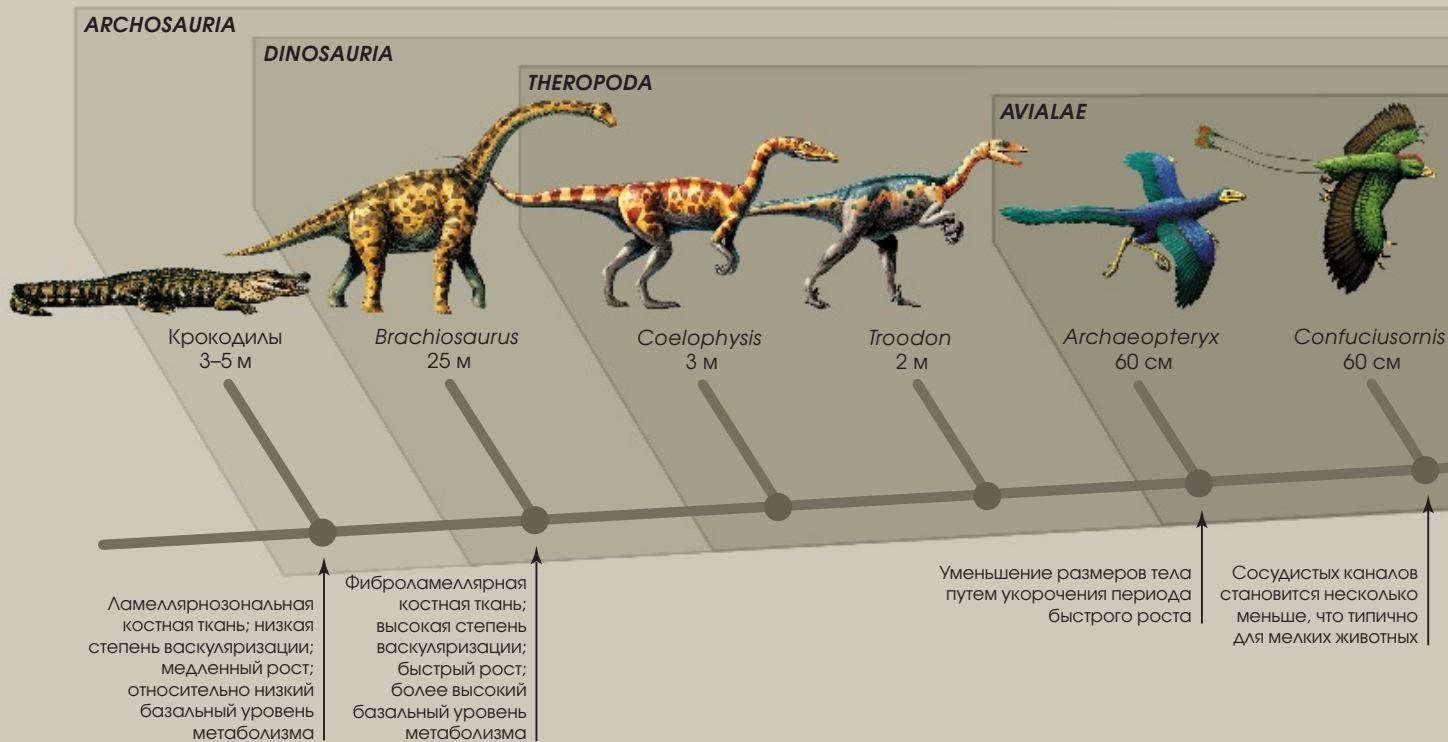
формируется кость в конкретном месте и на любом этапе развития, зависит прежде всего от скорости ее роста в данной точке. Наличие фиброламеллярной ткани, независимо от того, где и когда она образовалась, свидетельствует о том, что кость растет быстро, в то время как ламеллярнозональная ткань формируется медленнее. У одного и того же животного в разное время могут образовываться оба типа ткани, и тот, который преобладает на протяжении всей жизни, точнее всего указывает на скорость развития организма.

Если у динозавров фиброламеллярная ткань формируется на протяжении всего периода роста вплоть до достижения размера взрослой особи, то у других рептилий вскоре после рождения происходит переход к образованию ламеллярнозональной кости. Следовательно, ▶

### ОБ АВТОРАХ:

**Джон Хорнер** (John R. Horner), **Кевин Пэдиан** (Kevin Padian), **Арман де Рикле** (Armand de Ricqlès) вот уже более 12 лет совместно исследуют кости динозавров. Хорнер является куратором по палеонтологии в Музее Скалистых гор и регент-профессором палеонтологии в Университете штата Монтана. Пэдиан – профессор интегративной биологии и куратор палеонтологического музея в Калифорнийском университете в Беркли. Де Рикле – профессор Французского колледжа в Париже, где он занимает пост заведующего кафедрой исторической и эволюционной биологии. Возглавляемая им группа Национального центра научных исследований в VII Парижском университете исследует формирование кости и других тканей скелета.

## РОСТ КОСТИ И ЭВОЛЮЦИЯ ПТИЦ



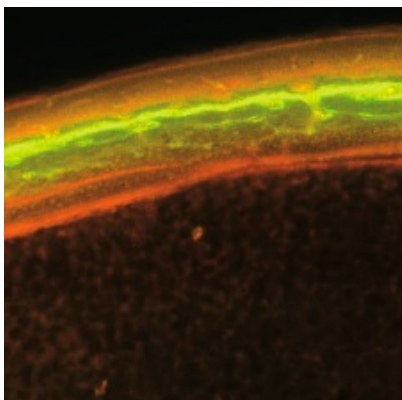
динозавры стремительно увеличивались в размерах до тех пор, пока не достигали окончательных параметров – иначе никак нельзя объяснить преобладание в их скелете фиброламеллярной ткани.

Эриксон, Роджерс и Скотт Йерби (Scott A. Yerby) из Стэнфордского университета использовали другой способ изучения процесса роста древних ящеров. Оценив массу тела различных видов динозавров, они построили график ее изменения во времени и сравнили полученные кривые роста с аналогичными данными для других групп позвоночных. Оказалось, что динозавры росли быстрее, чем любые современные рептилии, многие из них развивались примерно с такой же скоростью, как ныне живущие сумчатые. Кроме того, самые крупные виды и растут быстрее всего.

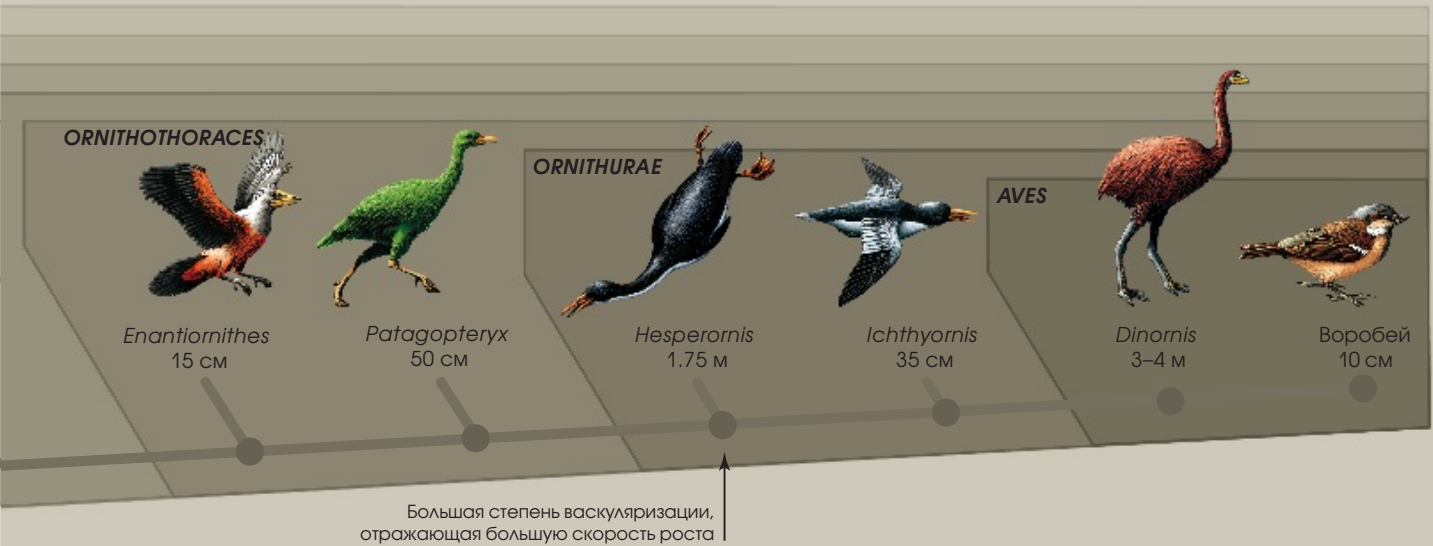
Однако данное открытие не стало неожиданностью. Тед Кейс (Ted J. Case) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе доказал,

что в пределах любой группы позвоночных, будь то рыбы, земноводные и т.д., абсолютная скорость роста наиболее крупных видов выше, чем мелких. Нам интересно было узнать,

Слои кости, сформированные в различное время, выявляются при помощи зеленого, желтого и оранжевого флуоресцентного красителей, вводимых кряквам раз в неделю. Окраска точно показывает, когда и какие ткани образовывались.



когда в процессе эволюции динозавры стали стремительно увеличиваться в размерах. Для этого мы отметили предполагаемые скорости роста на кладограмме (графическом изображении эволюционного древа), основанной на сотнях независимых характеристик различных частей скелета. Мы добавили к схеме предполагаемые скорости роста птерозавров – летающих рептилий, состоящих в близком родстве с динозаврами, которые увеличивались приблизительно так же, как крокодилы и их ископаемые родственники, в том числе ящерицы. В график были внесены также птицы, поскольку они произошли от динозавров и формально входят в ту же группу, кроме того, в их костях присутствуют те же ткани, что и у их предков. Жак Кастан (Jacques Castanet) со своими сотрудниками из VII Парижского университета вводили кряквам специальные растворы, окрашивающие растущие кости. Используя последовательно различные цвета,



Костные ткани динозавров и рептилий изначально очень отличались друг от друга. Кости первых росли быстрее – примерно с такой же скоростью, как у нынешних птиц и млекопитающих. Первые птицы (*Avialae*) существенно уменьшились в размере благодаря снижению темпов роста кости, хотя они все же росли быстрее, чем пресмыкающиеся. Позднее, когда начали возникать современные группы птиц (*Aves*), рост снова ускорился, в результате особь размером

с голубя достигает размеров взрослого организма не за месяцы, а за недели. Все знакомые нам пернатые, в том числе и страус, вырастают менее чем за год, а большинство из них и гораздо быстрее – например, воробей всего за семь дней. Рост первых птиц стал замедляться в ювенильном возрасте, т.е. как раз в тот период, когда он был наиболее интенсивным у их предков-динозавров. Это привело к существенному снижению размеров взрослых животных.

они смогли еженедельно измерять скорость роста костей птиц (см. рис. внизу). Воспользовавшись данными материалами, мы пришли к выводу, что все без исключения динозавры и птерозавры росли куда быстрее, чем другие рептилии. Кроме того, подтвердилось открытие, сделанное Кастаном и первоначально касавшееся птиц: чем мельче особь, тем медленнее она растет – согласно закономерностям, выведенным Тедом Кейсом (Ted J. Case), именно так и должно быть.

### Нетрадиционные рептилии

Исследование костей динозавров рассказало многое об их эволюции. Приблизительно 230 млн. лет назад, в начале триасового периода, общий предок динозавров, птерозавров и близких им групп отделился от крокодилов и его родственников. Ветвь, идущая к динозаврам, стала устойчиво развиваться.

Определение скорости роста данных существ дало более четкое

представление об особенностях их метаболизма: чем больше энергии тратится на развитие и разрушение костей и других тканей, тем быстрее они будут расти. Таким образом, факт, что динозавры долго и интенсивно увеличивались в размерах, пока не достигали зрелости, подразумевает, что они обладали относительно высоким базальным уровнем метаболизма. Скорее всего он был у них таким же, как у нынешних птиц и млекопитающих, а не как у современных рептилий. Вероятно, они были теплокровными, а не холоднокровными. Однако трудно установить некоторые детали: какова и насколько постоянна была температура их тела, насколько они нуждались в теплообмене с окружающей средой и т.д. Похоже, что обитатели «парка юрского периода» были еще более нестандартными существами, чем можно было предположить. По крайней мере, они явно не походили на обычных рептилий. ■

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- **Dinosaurian Growth Rates and Bird Origins.** K. Padian, A.J. de Ricqlès and J.R. Horner in *Nature*, Vol. 412, pages 405–408; July 26, 2001.
- **Dinosaurian Growth Patterns and Rapid Avian Growth Rates.** G.M. Erickson, K. Curry Rogers and S. A. Yerby. *Ibid.*, pages 429–433.
- **Age and Growth Dynamics of Tyrannosaurus rex.** J.R. Horner and K. Padian in *Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences*, Vol. 271, No. 1551, pages 1875–1880; September 22, 2004.
- **Growth in Small Dinosaurs and Pterosaurs: The Evolution of Archosaurian Growth Strategies.** K. Padian, J.R. Horner and A. de Ricqlès in *Journal of Vertebrate Paleontology*, Vol. 24, No. 3, pages 555–571; September 2004.
- **What's Inside a Dinosaur Bone?** K. Padian in *UCMP News* (University of California, Berkeley); September 2004. См. на сайте [www.ucmp.berkeley.edu/museum/ucmp-news/2001/5-01/dinosaur1.html](http://www.ucmp.berkeley.edu/museum/ucmp-news/2001/5-01/dinosaur1.html)

Гэри Стикс

# МИКРОЭЛЕКТРОННОЕ КРЕЩЕНИЕ ВОДОЙ

Производители интегральных схем «крестят» свои изделия водой во имя скорости, меньшего размера и стоимости. Аминь?..

165 лет назад флорентийский физик Джованни Баттиста Амичи поместил на препарат каплю жидкости, чтобы улучшить качество изображения в окуляре микроскопа. Сегодня инновационная идея выдающегося итальянца нашла применение в полупроводниковой промышленности. Своеобразное «крещение» микрочипов под тонкой пленкой воды позволяет уменьшить элементы интегральных схем до размеров биологических вирусов.

Необычное технологическое решение в стиле ретро ознаменовало юбилей наиболее значительного технического документа полупроводниковой промышленности. Сорок лет назад соучредитель

компании *Intel* Гордон Мур опубликовал свой трактат «Увеличение количества компонентов в интегральных схемах» (*Cramming More Components onto Integrated Circuits*). Предсказание Мура о том, что каждый год (в более позднем варианте прогноза – каждые два года) количество транзисторов в микрочипах будет удваиваться, превратилось в священный канон. Появился негласный постулат: если производительность микрочипов перестает экспоненциально расти, значит, для микроэлектронной промышленности наступают черные дни.

Если бы не волшебная сила воды, заповедь Мура была бы нарушена в 2002 г., когда изготовители интегральных схем, казалось, столкнулись с непреодолимым препятствием, мешающим разработке нового поколения микрочипов. Развитие самых сложных в мире оптических камер, необходимых для фотолитографии, зашло в тупик. Объектив проецирует шаблон электронной схемы на светочувствительный слой, покрывающий кремниевую подложку, которую позднее разрезают на отдельные чипы. Затем засвеченные области удаляют с помощью растворителя и химически вытравливают в кремнии разводку схемы.

После иммерсионной литографии на полупроводниковой подложке осталось изображение микроскопического пузырька, искажившее электрические цепи.



IMAGE CREATED BY ASML TWINSCAN™ XT:1150I, COURTESY OF ASML

Самый простой способ уменьшить размеры электронных элементов и повысить плотность их размещения в интегральной схеме – использовать свет с меньшей длиной волны. Инженерам пришлось преодолеть множество принципиальных и технологических трудностей, чтобы создать прибор, работающий на длине волны 157 нм. Для перехода к новому поколению фотолитографической техники требуются новые лазеры, теньевые маски (трафареты с разводками схем), проекционные линзы и фоторезистивные материалы. Производители оборудования так и не придумали надежный способ изготовления линз из фтористого кальция с малым количеством дефектов и приемлемой величиной оптической аберрации. «У нас были большие проблемы с качеством материалов и процентом производственного брака», – отмечает Джордж Гомба (George A. Gomba), руководитель программы по разработке перспективных литографических технологий в *IBM Microelectronics*.

Летом 2002 г. на конференции, организованной консорциумом *Sematech*, наметился прорыв. Берна Лин (Burn Lin), исполнительный директор крупнейшей компании по производству микрочипов *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company*, должен был сделать доклад об использовании иммерсионного метода с применением вязкого технического масла в 157-нанометровой литографии. Однако, выступая, он сначала доказал, что на такой длине волны литография работать не будет, а затем

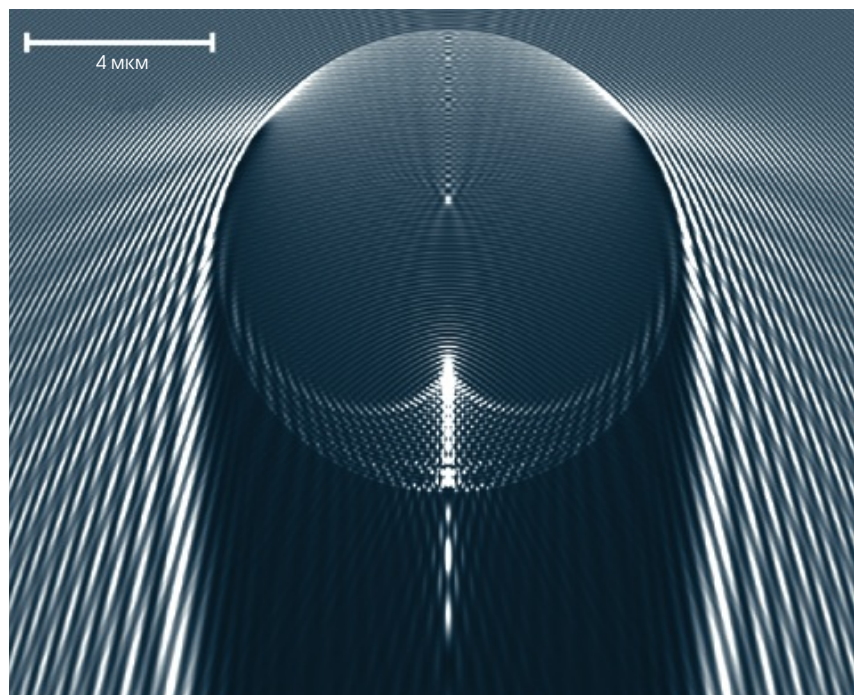
объяснил, почему промышленности следует обратить пристальное внимание на сочетание иммерсионных методов с фотолитографической техникой предыдущего поколения, в которой используется излучение 193-нанометрового лазера.

Иммерсионная технология позволяет с помощью старого проверенного оборудования добиться даже лучших результатов, чем ожидается от техники нового поколения. Вода, прозрачная для 193-нанометрового света и непрозрачная для 157-нанометрового, позволяет повысить разрешение проецируемого на подложку изображения за счет увеличения числовой апертуры. Кроме того, вода увеличивает глубину резкости, т.е. диапазон расстояний от камеры, при которых проецируемое изображение остается приемлемо четким. Глубина резкости – чрезвычайно важный параметр, поскольку малейшая неровность поверхности подложки отрицательно сказывается на качестве получаемого изображения.

Выступление Берна Лина прозвучало смело. Если иммерсионная 193-нанометровая литография будет опираться на существующие

технологии, то для ее внедрения не потребуется десятилетий, как при переходе на меньшую длину волны. Впрочем, никто не знает, найдет ли новый метод промышленное применение. Капельки воды, попадающие на подложку, могут сильно навредить. Микроскопические пузырьки, образующиеся, когда подложка перемещается под объективом со скоростью 0,5 м/с, могут привести к возникновению дефектов изображения.

В декабре 2002 г. *Sematech* организовал colloquium для специалистов полупроводниковой промышленности, где был составлен список проблем, связанных с иммерсионной литографией. В процессе обсуждения было выявлено десять серьезных препятствий, стоявших на пути внедрения новой технологии. Спектр поставленных вопросов был чрезвычайно широк: от моделирования последствий воздействия воды на линзу и фоточувствительный слой до сверхточного измерения ее физических характеристик. Коэффициент преломления воды – важнейший параметр для определения числовой апертуры – был известен для длины волны 193 нм с точностью всего ▶



Микроскопический газовый пузырек, смоделированный с помощью компьютера, искажает свет, фокусируемый на поверхности полупроводниковой подложки, и снижает качество изображения, проецируемого на фоточувствительный слой. Проблема частично решается дегазацией воды.

до двух знаков после запятой. «Мы пришли к выводу, что нам необходимо знать эту величину с точностью до пяти, а то и шести знаков после запятой», – отметил Уолтер Трайбула (Walter J. Trybula), один из учредителей консорциума *Sematech*.

Для изучения поведения пузырьков газа в воде была создана специальная группа исследователей. Сотрудники лаборатории Линкольна при Массачусетском технологическом институте достигли серьезного успеха, изучая замороженные нано- и микроскопические пузырьки газа. Оказалось, что чистая дегазированная вода вполне отвечает техническим требованиям.

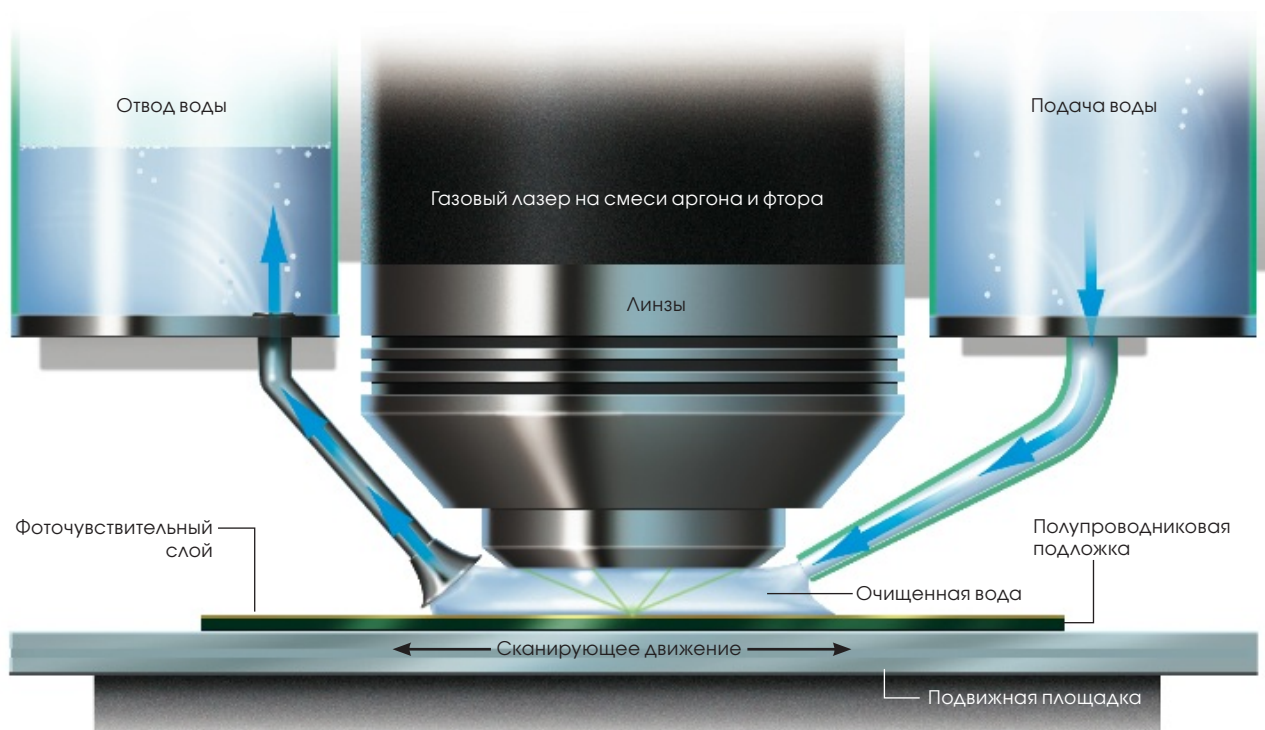
В июле 2003 г. другой симпозиум *Sematech* по иммерсионной литографии привлек пристальное внимание к работе исследовательского центра *IBM* в Альмадене. За шесть месяцев моделирования и экспериментов были найдены принципиальные решения всех десяти отмеченных ранее технических проблем. «Все, на первый

взгляд непреодолимые трудности оказались вполне разрешимы», – отметил Эндрю Гренвилл (Andrew Grenville), руководитель программы *Sematech* по разработке стратегии иммерсионной литографии. К декабрю 2003 г. компания *ASML*, производитель фотолитографического оборудования, предложила рынку прототип иммерсионного оборудования, а к концу 2004 г. *IBM* произвела экспериментальную партию микропроцессоров с элементами размером 90 нм. Погружение в жидкость наряду с тем, что специалисты-литографы называют «хитростями» (например, сдвиг фазы световой волны), позволяет «печатать» на подложке детали, которые в несколько раз меньше длины волны излучения 193-нанометрового лазера. Иммерсионная литография, вероятно, получит промышленное применение в 2009 г. К тому времени расстояние между транзисторами в интегральных схемах сократится до 45 нм – это меньше, чем размер вируса гепатита С.

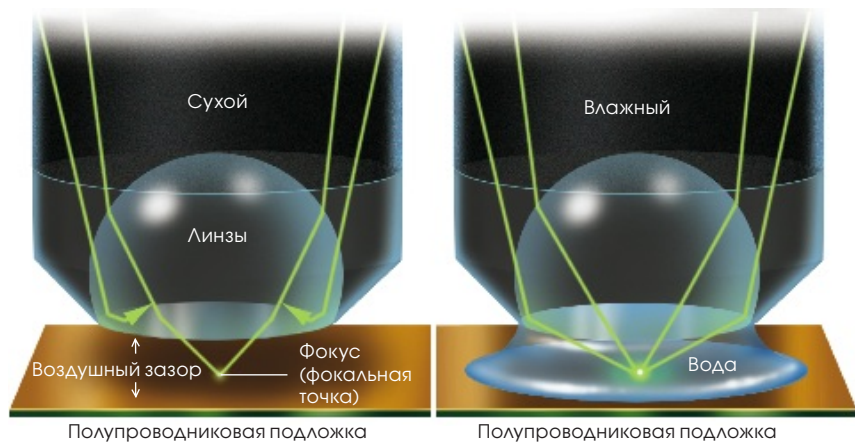
Вода способствовала на удивление быстрому внедрению новой технологии и помогла полупроводниковой промышленности, как и прежде, следовать заветам Мура. Появление иммерсионного метода ставит крест на 157-нанометровой литографии, в разработку которой уже вложено свыше \$2 млрд.

Ожидается, что применение иммерсионных технологий позволит выпустить в 2011 г. новое поколение микрочипов с расстоянием между транзисторами 32 нм. Для этого потребуются создать новые линзы и химические добавки, которые увеличат коэффициент преломле-

При иммерсионной литографии в зазор между объективом и фоточувствительным слоем на поверхности полупроводниковой подложки направляется поток воды. В результате повышается разрешающая способность и увеличивается глубина резкости. Подложка перемещается под линзой, и вода с проэкспонированных областей отсасывается.



Разрешающая способность литографической установки повышается, когда зазор между линзой и полупроводниковой подложкой заполняется водой. Лучи, проходящие через линзу под острым углом, отражаются от воздушного зазора (рисунок слева). Световая волна, входящая под тем же углом в воду, преломляется и достигает фокальной точки (рисунок справа). Иммерсионный метод также позволяет увеличить глубину резкости, т.е. диапазон расстояний от объектива, при которых изображение остается достаточно четким.



ния воды, чтобы можно было использовать более высокие числовые апертуры. На встрече инженеров-оптиков в марте 2005 г. Брюс Смит (Bruce W. Smith) из Рочестерского технологического института заявил, что твердоиммерсионная литография, при которой сапфировая линза непосредственно касается фоточувствительного слоя, позволит сократить расстояние между транзисторами до 25 нм уже к 2015 г.

Если события будут развиваться по такому сценарию, то нетрадиционная технология, разрабатываемая компанией *Intel*, будет обречена. В так называемой литографии в жестком ультрафиолете используется свет с длиной волны 13 нм. Жесткое излучение отражается от нескольких многослойных зеркал, уменьшающих размер изображения, проецируемого на подложку. Линзы при такой длине волны становятся непрозрачными.

Изначально предполагалось, что жесткая ультрафиолетовая литография позволит уменьшить размеры элементов интегральных схем до 100 нм, но появление иммерсионного метода и других технологических усовершенствований отодвинуло ее промышленное применение на неопределенный срок. По мнению специалистов, технология, разрабатываемая инженерами *Intel*, никогда не дорастет до промышленного

применения из-за своей высокой стоимости и проблем с лазерами и используемыми материалами.

У литографии в жестком ультрафиолете есть все шансы оказаться на обочине и разделить судьбу рентгеновской литографии – технологии, которую в свое время поднимала на щит компания *IBM*. Тогда потребовалось синхротронное, или магнитотормозное, излучение, и *IBM* вместе с Управлением перспективных исследований и разработок министерства обороны США (*DARPA*) потратили на исследования более \$1 млрд. Поскольку при жесткой ультрафиолетовой литографии длина волны находится в рентгеновском диапазоне, ее называли мягкой рентгеновской проекционной литографией до тех пор, пока упоминание о рентгеновском излучении не стало ассоциироваться с провальным проектом *IBM*.

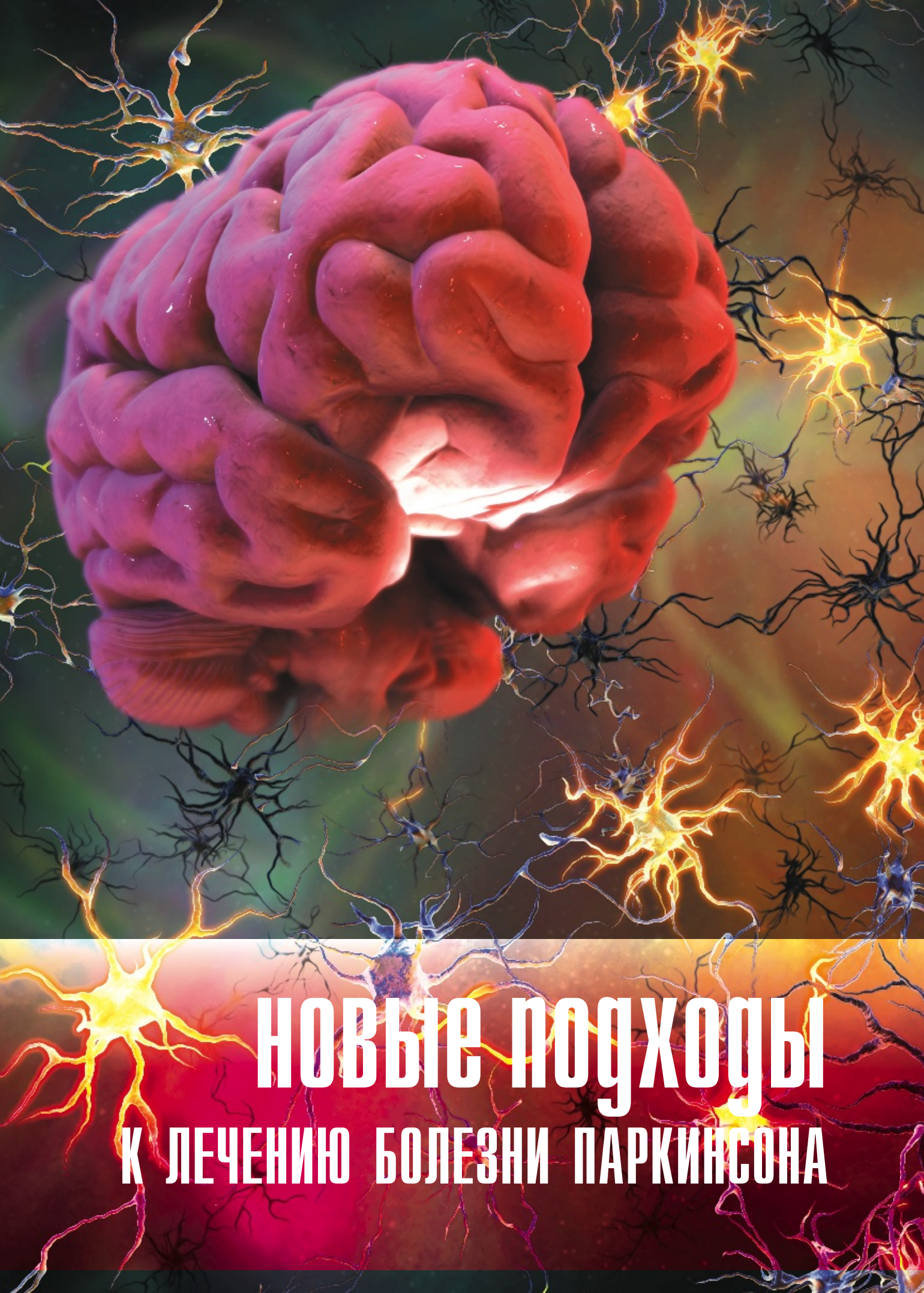
И все же представители *Intel* уверены, что жесткая ультрафиолетовая литография станет востребованной, как только расстояние между транзисторами станет меньше 50 нм. «Наша технология еще послужит многим поколениям», – считает Питер Сильверман (Peter J. Silverman), исполнительный директор *Intel* по разработке оборудования. Впрочем, аналитики предсказывают конец традиционных форм оптической литографии с тех самых пор, как размер элементов ми-

кродипа уменьшился до половины микрона (500 нм). Иммерсионная литография, несомненно, продлит жизнь старой проверенной технологии, возможно, в ущерб литографии в жестком ультрафиолете.

Размеры элементов интегральных схем год от года уменьшаются, и разработчики постепенно теряют контроль над электронами, проходящим через транзисторы. Хотя во многих случаях решение сложнейших технических проблем оказывается на удивление простым. Капля обычной воды позволяет газовым лазерам на основе фтора и аргона «печатать» на полупроводниковой подложке элементы размером в четверть длины волны 193-нанометрового излучения. По-видимому, закон Мура утратит свою силу лишь тогда, когда электронными компонентами станут отдельные атомы. ■

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

- **Feasibility of Immersion Lithography.** Soichi Owa et al. in *Optical Microlithography XVII*. Edited by Bruce W. Smith. Proceedings of SPIE, Vol. 5377; 2004.
- **The Lithography Expert: Immersion Lithography.** Chris Mack in *Microlithography World*; May 2004. Доступно по адресу: <http://sst.pennnet.com/Articles/Article-Display.cfm?Section=ARCHI&Subsection=Display&ARTICLE-ID=205024&p=28>



**НОВЫЕ ПОДХОДЫ  
К ЛЕЧЕНИЮ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА**



Андрес Лосано,  
Сунейл Калиа

Успехи,  
достигнутые  
в изучении  
этиологии  
паркинсонизма  
на клеточном  
и генетическом  
уровнях, вселяют  
надежду на  
прорыв в лечении  
этого тяжелого  
недуга.

**Б**лезнь, о которой пойдет речь, впервые была описана в 1817 г. английским врачом Джеймсом Паркинсоном (он назвал ее «дрожательный паралич») и является одним из самых распространенных нейродегенеративных расстройств. По данным ООН, паркинсонизмом страдают 4 млн. жителей Земли. В Северной Америке ею болеют от 500 тыс. до 1 млн. человек, при этом каждый год диагностируется 50 тыс. новых случаев. К 2040 г. вслед за старением населения Земли эти цифры могут удвоиться. Чаще всего паркинсонизм и другие нейродегенеративные расстройства (такие, как болезнь Альцгеймера) встречаются у людей пожилого возраста и наряду с онкологическими заболеваниями занимают лидирующие позиции среди причин смерти. Но паркинсонизм – болезнь не только стариков: лишь у 50% пациентов первые ее симптомы отмечаются после 60 лет, у остальных – гораздо раньше. А с усовершенствованием методов диагностики появляется все больше свидетельств того, что недуг поражает и людей моложе 40 лет.

До сих пор ученым и клиницистам не удалось найти способы замедления патологического процесса, а тем более его остановки или предотвращения. Хотя болезнь Паркинсона и пытаются лечить (существуют как медикаментозные, так и хирургические методы), специалистам удается лишь частично устранить ее симптомы, но не саму причину. Однако в последние годы появились интересные работы, позволяющие надеяться, что будут найдены новые способы лечения. В частности, в ходе исследования роли белков в возникновении паркинсонизма была установлена генетическая подоплека образования аномальных белков, ассоциированных с данным расстройством.

Как следует из первоначального названия болезни, ее характерными симптомами служат двигатель-

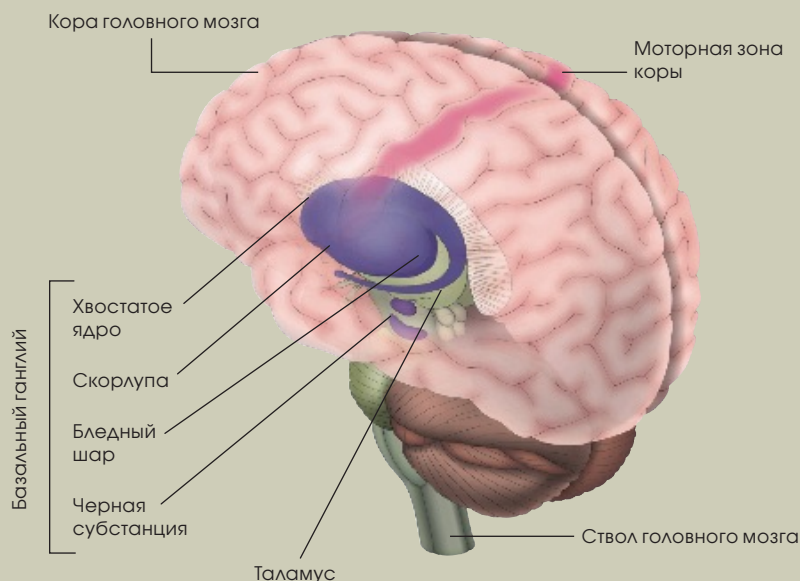
ные расстройства: дрожание (тремор) пальцев рук, нижней челюсти и языка, головы и век, замедленность и обеднение рисунка движений, скованность туловища, затрудненность в начале и остановке движения, нарушение координации и пр. У некоторых больных возникают проблемы с речью, сном, мочеиспусканием.

Такие нарушения обусловлены гибелью нервных клеток, в первую очередь утратой пигментсодержащих нейронов черной субстанции, вырабатывающих дофамин. Эти нейроны служат основным компонентом базальных ганглиев, сложных структур в глубине головного мозга, отвечающих за координацию и тонкую регуляцию движений (см. вставку на стр. 56). В самом начале заболевания, когда число утраченных дофаминергических нейронов невелико, мозг работает нормально, но с выходом из строя более половины специализированных клеток их нехватку организм уже не может компенсировать. Структуры мозга, отвечающие за движения (таламус, базальные ганглии и кора головного мозга), перестают работать как единая система, и тогда наступает ситуация, аналогичная той, что наблюдается в крупном аэропорту при выходе из строя системы контроля полетов: опоздания, задержки, нелетов и, наконец, полный хаос.

#### «Плохие белки»

У многих больных, умерших от паркинсонизма, при вскрытии в черной субстанции обнаруживаются белковые скопления (они называются тельцами Леви по фамилии немецкого патологоанатома, открывшего их в 1912 г.). Аналогичные образования характерны также для болезни Альцгеймера и хореи Гентингтона. Являются ли эти кластеры причиной деструктивных изменений или, напротив, выполняют защитные функции, удерживая аномальные, токсичные для нейрона белки от распространения по всей ▶

## ОБЛАСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА, ПОРАЖАЕМЫЕ ПРИ ПАРКИНСОНИЗМЕ



Больше всего страдают клетки черной субстанции, которые контролируют произвольные движения и настроение. Вначале последствия гибели нейронов в этой области компенсируют другие нейроны, но когда доля утраченных клеток достигает 50–80%, незатронутые области головного мозга не справляются с перегрузкой. С этого момента части головного мозга, тоже вовлеченные в регуляцию двигательной активности, в том числе остальная часть базального ганглия, таламус и кора головного мозга, перестают работать согласованно, и движения становятся неконтролируемыми.

клетке, – не совсем ясно. В любом случае большинство ученых сходятся на том, что выяснение причины кластеризации белков поможет раскрыть тайну болезни Паркинсона.

Центральное место во всей этой истории занимают два внутриклеточных процесса: пространственная упаковка белков и их элиминация. Белки синтезируются в клетке в виде полимерной цепочки из аминокислот, соединяющихся друг с другом в соответствии с инструкциями, записанными в генах. По завершении синтеза белковая молекула сворачивается в компактную

трехмерную глобулу при участии особых молекул – шаперонов. Эти же молекулы вновь упаковывают белки, утратившие должную конфигурацию.

Если по тем или иным причинам шаперонная система выходит из строя, то неправильным образом уложенные белки становятся мишенью для так называемой убиквитин-протеасомной системы. Сначала к белковой молекуле с аномальной конформацией присоединяется небольшой белок убиквитин (процесс называется убиквитинилированием). Вслед за первой убиквити-

новой «бусиной» присоединяется вторая – и так до тех пор, пока на конце обреченной на гибель белковой молекулы не образуется цепочка (своеобразная «черная метка»). Она служит сигналом для протеасомы («мусорщика» нервной клетки) к расщеплению аномального белка на составляющие его аминокислоты. В 2004 г. за исследование этой системы были удостоены Нобелевской премии по химии Авраам Гершко (Avram Hershko) и Аарон Цихановер (Aaron Ciechanover) из Института «Технион» в Израиле, а также американский биохимик Ирвин Роуз (Irwin Rose) из Калифорнийского университета.

За последние несколько лет стало более или менее ясно, что болезнь Паркинсона развивается в результате нарушений в работе шаперонной и убиквитин-протеасомной систем. По-видимому, дело обстоит следующим образом. Какое-то повреждение в нейронах черной субстанции запускает целый каскад реакций, приводящих к появлению большого количества неправильно упакованных белков. Они образуют кластеры, что вначале даже дает некоторые преимущества клетке, поскольку аномальные белки держатся

### ОБЗОР: АНОМАЛЬНЫЕ БЕЛКИ И ПАРКИНСОНИЗМ

- Паркинсонизм, одно из самых распространенных неврологических расстройств, не поддается лечению: патологический процесс не удается ни замедлить, ни остановить, ни предотвратить. Два существующих ныне подхода (медикаментозный и хирургический) лишь сглаживают симптомы, но не устраняют причину.
- Идентификация аномальных белков и мутантных генов, связанных с развитием паркинсонизма, дает ученым и врачам надежду на то, что удастся разработать совершенно новые подходы к лечению страшного недуга.
- Основную роль в возникновении патологии играет выход из строя систем упаковки белков и удаления тех из них, которые упакованы неправильно. Очень важно, что установлена генетическая подоплека таких нарушений.

вместе, а не распространяются по ней, вызывая повреждения. Затем в дело вступают шапероны, приводящие белки в норму, а те из них, которые исправить не удастся, расщепляются убиквитин-протеасомной системой. Когда аномальных белков становится слишком много, клеточная «очистительная машина» перестает справляться с работой, шаперонов не хватает, токсичные белки накапливаются, и в конце концов нейроны погибают.

Эта гипотеза хороша тем, что, по мнению ученых, объясняет природу обеих форм болезни Паркинсона. Предполагается, что 95% больных страдают вторичным паркинсонизмом, возникающим в результате сложных взаимодействий между генетическими и средовыми факторами. Если человек с предрасположенностью к паркинсонизму попадает в неблагоприятные условия (например, длительное время находится в контакте с пестицидами; см. вставку на этой странице), то нейроны черной субстанции страдают у него в большей степени, чем нейроны людей, не имеющих предрасположенности, и в них накапливается больше белков с аномальной конформацией. У 5% остальных больных паркинсонизмом в основе патологии лежат чисто генетические факторы (первичный паркинсонизм). Результаты исследований, проведенных за последние восемь лет, указывают на наличие связи между мутациями в геноме больных и образованием белков с аномальной конформацией или сбоем в работе защитных механизмов клетки. Это наиболее впечатляющее достижение в изучении природы болезни Паркинсона за многие годы.

### Генетические основы

В 1997 г. Михаэль Полимеропулос (Michael H. Polymeropoulos) из Национальных институтов здоровья идентифицировал мутацию в гене, кодирующем белок под названием  $\alpha$ -синуклеин, у членов ита-

льянских и греческих семей, страдавших наследственной формой паркинсонизма. Мутация наследовалась по аутосомно-доминантному типу, т.е. для возникновения болезни было достаточно одной мутантной копии гена (полученной от отца или матери). Мутация в гене  $\alpha$ -синуклеина встречается крайне редко: доля несущих ее больных составляет лишь 1% от числа всех страдающих паркинсонизмом. Но сам факт обнаружения связи между наличием мутантного белка и болезнью Паркинсона вызвал большой интерес в научных кругах. Отчасти это было связано с тем, что в том же году выяснилось, что  $\alpha$ -синуклеин (не важно, мутантный или нормальный) относится к категории белков,

способных к образованию кластеров. Отсюда напрашивается вывод: разобравшись, каким образом мутация приводит к паркинсонизму, можно раскрыть тайну образования телец Леви в дофаминпродуцирующих клетках черной субстанции при болезни Паркинсона.

$\alpha$ -Синуклеин – это небольшой белок, состоящий всего из 144 аминокислот. Полагают, что он участвует в обмене сигналами между нейронами. Мутации в его гене приводят к минимальным изменениям в аминокислотной последовательности белка. В настоящее время идентифицированы несколько таких мутаций, две из них приводят к единичным аминокислотным заменам. Опыты на дрозофилах, ▶

## ВИНОВНИК – ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Гипотеза о роли в возникновении болезни Паркинсона неблагоприятных внешних факторов циркулировала в научных кругах не одно десятилетие. Однако подтверждение ей было получено лишь в начале 1980-х гг., когда Уильям Лангстон (J. William Langston) из Института по изучению болезни Паркинсона в Саннивейле, шт. Калифорния, обнаружил, что у молодых наркоманов буквально через несколько дней после приема одного из синтетических вариантов героина (чайна-уайт) появились симптомы, характерные для паркинсонизма. Оказалось, что партия наркотика была загрязнена веществом, губительным для нейронов черной субстанции. После курса терапии у некоторых из наркоманов контроль над отдельными движениями восстановился, состояние же большинства не изменилось.

В течение следующих нескольких лет ученые пытались найти другие вещества со сходным действием, и в 2003 г. Национальный институт по изучению влияния окружающей среды на состояние здоровья выделил на эти работы \$20 млн. Сегодня выявлено несколько случаев развития паркинсонизма в результате длительных контактов человека с различными пестицидами, гербицидами и фунгицидами. Тимоти Гринэмайер (J. Timothy Greenamyre) из Университета Эймори показал в опытах на животных, что при контакте с пестицидом ротеноном, который вырабатывается из натуральных продуктов и часто

применяется в органическом сельском хозяйстве, возможно образование белковых агрегатов, губительных для дофаминпродуцирующих нейронов и клеточных органелл, вырабатывающих энергию. Кроме того, у подопытных животных наблюдались двигательные расстройства.

Помимо «провокаторов» паркинсонизма существуют и вещества, оказывающие противоположное действие. Специалисты полагают, что некоторым защитным эффектом обладают никотин и кофеин. Но стоит ли беспрерывно пить кофе или выкуривать по пачке сигарет в день ради призрачной надежды избежать паркинсонизма?



Некоторые пестициды, в том числе изготовленные только из природных веществ, могут вызывать у животных симптомы, характерные для болезни Паркинсона.

## КАК ЛЕЧАТ ПАРКИНСОНИЗМ СЕГОДНЯ

Врачи используют два основных подхода к лечению паркинсонизма. У каждого есть свои преимущества и недостатки, однако оба лишь смягчают симптомы заболевания, не устраняя его причины.

### ЛЕКАРСТВЕННАЯ ТЕРАПИЯ

Сегодня применяются лекарственные средства, имитирующие действие дофамина, вещества – метаболитические предшественники дофамина (например, леводопа) и препараты, блокирующие разрушение дофамина. Кроме того, используются лекарства, действующие на некоторые недофаминовые системы головного мозга, страдающие при паркинсонизме, такие, в частности, где нейромедиаторами служат ацетилхолин и глутамат. Многие из них помогают на начальных стадиях заболевания, но при длительном приеме вызывают побочные эффекты. Основной из них – непредсказуемые переходы от нормального состояния к периодам заторможенности, тремора и ригидности. Кроме того, возникают дискинезии, особенно сильно выраженные у молодых пациентов.

### СТИМУЛЯЦИЯ ГЛУБИНЫХ СТРУКТУР МОЗГА

В начале XX века ученые обнаружили, что разрушение небольшого числа клеток структур мозга, отвечающих за аномальную двигательную активность, уменьшает тремор. И хотя подобная операция сопровождается мышечной слабостью, больные предпочитают лечь под нож, чем жить с постоянно трясутыми руками. В 1938 г. хирурги провели операцию на базальных ганглиях, которая дала положительный результат. Обнаружилось, что устранение гиперактивных или неправильно реагирующих на сигнал клеток приводит к нормализации работы остальных отделов мозга. К несчастью, хирургическое вмешательство не стало решением всех проблем. Если при этом затрагивались оба полушария или место разрушения подкорковых структур было выбрано не совсем точно, могли возникнуть такие серьезные осложнения, как нарушение речи и когнитивных функций.

В 1970-х гг. обнаружилось, что высокочастотная электростимуляция отдельных частей головного мозга имитирует их разрушение, не вызывая при этом никаких

побочных эффектов. Сегодня методы стимуляции головного мозга в разных вариантах используются для лечения многих неврологических расстройств (см. статью «Чудеса магнитотерапии», «В мире науки», №12, 2003 г.). Большим паркинсонизмом в одну из структур базального ганглия (бледный шар или субталамическую область) вводят электрод, подсоединенный к генератору электрических импульсов, который имплантирован в область грудной клетки. Длительность импульса составляет 90 микросекунд, амплитуда – три вольта, частота – 185 импульсов в секунду. Генератор подлежит замене каждые пять лет.

После того как разработчики этого метода, Алим Бенабид (Alim Benabid) и Пьер Поллак (Pierre Pollak) из Гренобльского университета во Франции, сообщили, что подобная стимуляция приводит к значительному уменьшению тремора и ригидности, метод вышел на одно из первых мест в лечении паркинсонизма. Иногда на фоне стимуляции удавалось существенно снизить дозу принимаемых препаратов и даже вообще обходиться без них. Впрочем, стимуляция глубинных структур головного мозга не может остановить патологический процесс и не решает проблем, связанных с утратой когнитивных функций, расстройств речи и чувства равновесия.

Среди нерешенных проблем остается и такая: является ли бледный шар и субталамическая область оптимальными для подобных воздействий? Неясно также, какие именно электрические и химические процессы отвечают за смягчение симптомов. Считалось, что стимуляция глубинных структур мозга вызывает тот же эффект, что и хирургическое вмешательство, а именно – разрушает клетки. Однако недавно выяснилось, что эта процедура приводит к повышению частоты импульсов.

нематодах и мышцах показали, что если мутантный  $\alpha$ -синуклеин образуется в нейронах черной субстанции в больших количествах, то происходит их дегенерация и возникают двигательные расстройства. Обнаружено также, что мутантные  $\alpha$ -синуклеины не упаковываются надлежащим образом и образуют кластеры – тельца Леви. Кроме того, они подавляют деятельность убиквитин-протеасомной системы и устойчивы к протеасомной деградации. Недавно обнаружилось, что при наличии в геноме избыточных копий нормального гена  $\alpha$ -синуклеина также развивается болезнь Паркинсона.

В 1998 г. японские ученые Есикуни Мицуно (Yoshikuni Mizuno) из Университета Джунтендо и Нобуёси Шимицу (Nobuyoshi Shimizu) из Университета Кейо идентифицировали еще один ген – он кодирует белок паркин, мутация в котором приводит к наследственному паркинсонизму, но другого типа. Такая мутация обычно встречается у людей, заболевших в возрасте до 40 лет, и чем моложе пациент, тем выше вероятность, что в основе заболевания лежит мутация в гене паркина. Те, кто получают мутантные копии гена и от отца, и от матери, обязательно заболевают, но к группе риска относятся и люди, несущие лишь одну копию мутантного гена. Мутации в гене паркина встречаются чаще, чем в гене  $\alpha$ -синуклеина, однако точные цифры неизвестны.

В молекуле паркина имеются несколько доменов, характерных для многих других белков. Особый интерес представляют так называемые RING-домены; содержащие их белки участвуют в расщеплении других белков. Имеющиеся на сегодня данные позволяют предположить, что гибель нейронов при данной форме паркинсонизма происходит, в частности, вследствие нарушения убиквитинилирования – составного компонента системы удаления аномальных белков. В норме пар-



кин присоединяет убиквитин к неправильно упакованным белкам, без этого белок не получает «черную метку» и не разрушается. Недавно мы обнаружили, что белок под названием *BAG5*, присутствующий в тельцах Леви, может связываться с паркином и блокировать его работу, результатом чего служит гибель дофаминергических нейронов.

Интересно, что у некоторых больных, несущих мутацию в гене паркина, в нейронах черной субстанции отсутствуют тельца Леви. Это означает, что, пока происходит убиквитинилирование, белковые агрегаты не образуются. А отсюда, в свою очередь, следует, что, когда аномальные белки не держатся вместе, а распределяются по всей клетке, возникает хаос. Поскольку у людей с мутацией в гене паркина паркинсонизм развивается в молодом возрасте, можно предположить, что у них отсутствует защитный механизм, обеспечивающий кластеризацию токсичных белков.

В последнее время появились сообщения об идентификации целого ряда других генов, имеющих отношение к паркинсонизму. Так, в 2002 г. Винченцо Бонифати (Vincenzo Bonifati) из Медицинского центра Эразма в Роттердаме обнаружил мутацию в гене *DJ-1* у членов нескольких голландских и итальянских семей. Как и мутация в гене паркина, она отвечает за возникновение аутосомно-рецессивной формы болезни Паркинсона. Выявлена также мутация в гене *UCHL1* у больных, страдающих наследственной формой паркинсонизма. А недавно в журнале *Science* опубликована статья о мутации в гене *PINK-1*, следствием которой может стать нарушение метаболических процессов и гибель нейронов черной субстанции. Сообщается об идентификации еще одного гена подобного типа, *LRRK2*, или дардарина (что на языке басков, у которых этот ген обнаружен, означает «тремор»). К сожалению, вся цепочка событий

от возникновения мутации до развития заболевания учеными пока не воссоздана.

### Новые подходы к лечению

Сегодня все усилия ученых направлены на поиски лекарственных средств, которые воздействовали бы на активность молекул (участников патологического процесса) таким образом, чтобы не только смягчались симптомы болезни, но и останавливались дегенеративные процессы, ответственные за ее прогрессирование.

Уже получены два крайне интересных результата. Так, опыты на животных показали, что повышение концентрации шаперонов в клетках черной субстанции приводит к блокированию нейродегенеративного действия мутантного  $\alpha$ -синуклеина. А в ходе экспериментов с использованием дрозофилы как модельной системы установлено, что вещества, повышающие активность шаперонов, продлевают жизнь нейронов. Обнаружено также, что при повышении содержания немутантного паркина в клетках снижается действие неправильно упакованных белков. Возможно, со временем удастся разработать препараты, сходные с шаперонами, которые воздействовали бы на аномальные процессы в нейронах и предотвращали их гибель, или с помощью генной терапии запускать синтез нужных шаперонов.

Параллельно развивается и другое направление, основанное на введении в головной мозг больных нейротропных факторов, способствующих росту и дифференцировке нейронов. Они не только облегчают состояние больного, но и защищают нейроны от вредных воздействий и даже восстанавливают уже поврежденные клетки.

Так, опыты, проведенные на животных, показали, что семейство белковых факторов под названием *GDNF* (от англ. *glial cell line-derived neurotrophic factor* – нейротроп-

ный фактор, происходящий из линии глиальных клеток), повышает устойчивость к повреждениям дофаминергических нейронов и существенно смягчает симптомы болезни. Стив Гилл (Steve Gill) из госпиталя Френхей в Бристоле отважился на смелый эксперимент: он инъектировал *GDNF* больным паркинсонизмом. Для этого был введен катетер в левое и правое полосатое тело, куда в основном поступает дофамин, секретируемый нейронами черной субстанции. *GDNF* инфузировали с помощью насоса, имплантированного в брюшную полость. Количество *GDNF* в емкости насоса хватало на месяц, новую порцию препарата вводили с помощью шприца.

Предварительные результаты испытаний, проведенных на небольшом числе пациентов, указали на смягчение симптомов, а позитронно-эмиссионное сканирование подтвердило частичное восстановление поглощения дофамина в полосатом теле и черной субстанции. Однако последующие более масштабные испытания оказались не столь обнадеживающими. И все же в медицинской практике нередки случаи, когда первые попытки применения новых методов терпели неудачу. Так, препарат левопода ▶

### ОБ АВТОРАХ:

**Андрес Лосано** (Andres M. Lozano) и **Сунейл Калиа** (Suneil K. Kalia) работают над изучением разных аспектов болезни Паркинсона. **Лосано**, испанец по происхождению, получил докторскую степень в Университете Оттавы. Сегодня он – профессор и заведующий отделом стереотаксической и функциональной нейрохирургии Западного Госпиталя Торонто и в Торонтском университете. **Калиа**, недавно защитивший докторскую диссертацию, занимается исследованием роли шаперонов в возникновении паркинсонизма.

поначалу не давал никакого положительного эффекта, а сегодня является одним из основных лекарственных средств, используемых для лечения паркинсонизма.

Не стоят на месте и исследования в области генной терапии. Джеффри Кордоувер (Jeffrey H. Kordower) из Чикагского медицинского пресвитерианского центра св. Луки в Раше и Патрик Эбишер (Patrick Aebischer) из Института неврологии в Федеральном технологическом институте в Швейцарии сконструировали вирус, несущий ген фактора *GDNF*, и ввели его в дофаминпродуцирующие клетки полосатого тела четырех обезьян, больных паркинсонизмом. Результаты превзошли все ожидания: двигательные расстройства у животных почти исчезли, никак на них не повлияли инъекции *MPTP*, вещества, токсичного для дофаминергических нейронов черной субстанции. Введенный ген функционировал в организме и «снабжал» его белком в течение шести месяцев, после чего эксперимент был остановлен. Воодушевленные такими результатами, ученые из компании *Ceregene* в Сан-Диего использовали аналогичный подход для доставки в организм другого белка из семейства *GDNF*-нейртурина. Испытания находятся пока на доклинической стадии, однако ученые надеются испытать новый белок и на человеке.

Крис Банкиевич (Krys Bankiewicz) в сотрудничестве с компанией *Avigen* (Сан-Франциско) показал в опытах на животных, что введение в область полосатого тела гена, кодирующего фермент под названием декарбоксилаза ароматических аминокислот, стимулирует выработку дофамина. У крыс и обезьян при этом смягчаются симптомы заболевания. Вскоре предполагается проведение соответствующих клинических испытаний на человеке.

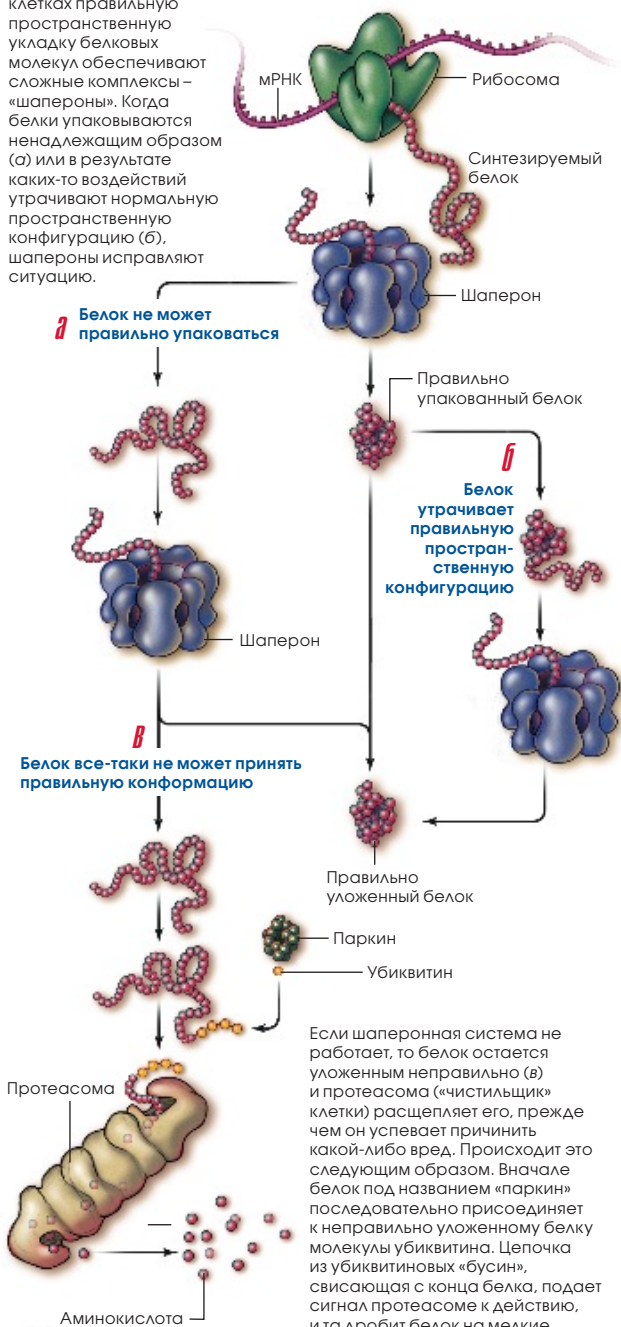
Майкл Каплит (Michael Kaplitt) из Корнеллского университета пытается использовать генную терапию в других целях – для «отключения» тех областей головного мозга, которые проявляют излишнюю активность при существенном уменьшении количества дофамина, высвобождаемого черной субстанцией. В число таких областей входит гипоталамическое ядро базального ганглия. (В отсутствие дофамина нейроны синтезируют глутамат, один из возбуждающих нейромедиаторов, что приводит к гиперстимуляции его мишеней и к двигательным расстройствам.) Каплит планирует провести испытания на человеке, используя вирусный вектор для адресной доставки гена декарбоксилазы глутаминовой кислоты. Этот фермент играет ключевую роль в синтезе  $\gamma$ -аминомасляной кислоты (ГАМК), ингибиторного нейромедиатора. Есть надежда, что ГАМК предотвратит гиперактивацию клеток, отвечающую за чрезмерную двигательную активность. Для доставки вектора используется трубка толщиной с человеческий волос, вводимая в мозг через крошечное отверстие в теменной области черепа. Вирус, оказавшись в мозге, снабжает копиями гена нейроны гипоталамического ядра.

## БЕЛКИ И БОЛЕЗЬ ПАРКИНСОНА

Скопление в головном мозге неправильно упакованных белков (образование телец Леви) считается «визитной карточкой» болезни Паркинсона. Однако ученые до сих пор

### УПАКОВКА БЕЛКОВ В НОРМАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ

В нормальных клетках правильную пространственную укладку белковых молекул обеспечивают сложные комплексы – «шапероны». Когда белки упаковываются ненадлежащим образом (а) или в результате каких-то воздействий утрачивают нормальную пространственную конфигурацию (б), шапероны исправляют ситуацию.

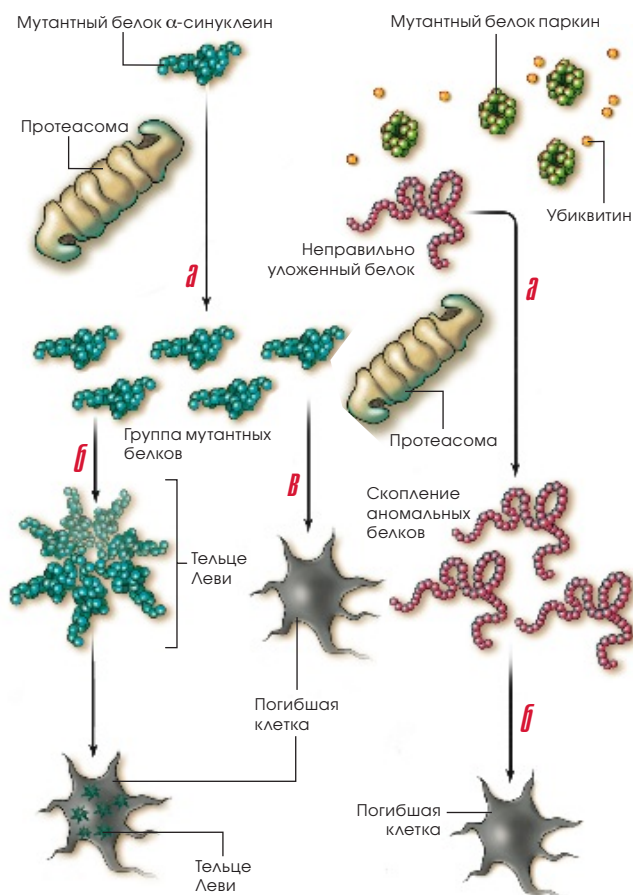


TAMI TOLPA

не знают, выполняют ли эти скопления защитные функции (они концентрируют токсичные для нейронов белки, предотвращая их распространение по всем клеткам) или, напротив, служат причиной гибели нервных клеток. В любом случае ясно, что у истоков болезни находится неправильная упаковка белков.

### ЧТО ПРОИСХОДИТ С БЕЛКАМИ ПРИ ПАРКИНСОНИЗМЕ

У больных паркинсонизмом протеасомная система не работает. В этом случае неправильно упакованные белки накапливаются в клетке, поскольку шапероны не успевают приводить их в норму, а протеасомы – расщеплять на части, и в конце концов нейроны погибают. К такой аномалии приводят, в частности, мутации в двух генах, один из них кодирует белок  $\alpha$ -синуклеин (слева), другой – паркин (справа).



Болезнь Паркинсона может вызвать очень редкая мутация в гене белка  $\alpha$ -синуклеина. Мутантный белок приобретает такую пространственную конфигурацию, при которой протеасома не может его расщепить (а). Аномальные белки собираются в кластеры – так называемые тельца Леви (б). Вначале эти кластеры дают клетке некоторые преимущества, и она погибает позже, чем в том случае, когда неправильно упакованные белки распределяются по всему нейрону (в).

Мутантный паркин не может присоединять убиквитин к неправильно упакованным белкам и в результате они избегают расщепления протеасомами (а). Такие белки остаются в клетке все больше, они не образуют тельца Леви, и клетка быстро погибает (б).

Кодируемый этим геном белок не только «усмиряет» слишком активные нейроны, расположенные в данной области, но, возможно, проникает и в другие места, которые тоже ведут себя беспокойно.

Пожалуй, наиболее жаркая дискуссия развернулась вокруг возможности замены погибших клеток новыми путем трансплантации. При этом предполагалось использовать эмбриональные стволовые клетки и стволовые клетки взрослого организма, запрограммированные на превращение в дофаминпродуцирующие нейроны. Источником эмбриональных стволовых клеток должны служить эмбрионы, полученные в пробирке путем искусственного оплодотворения, – сегодня такой подход вызывает резкое неприятие в силу его неэтичности. Использование стволовых клеток взрослого организма считается более приемлемым, однако с ними трудно работать.

Несмотря на значительные успехи в идентификации молекулярных процессов, побуждающих недифференцированные клетки синтезировать дофамин, неизвестно, даст ли трансплантация должный эффект. До сих пор все клинические испытания с привлечением тщательно разработанных методик проводились с использованием материала, взятого от плода. При том что сотни тысяч трансплантированных дофаминпродуцирующих клеток успешно приживались, положительные функциональные изменения были в лучшем случае умеренными и к тому же нестабильными, а кроме того, наблюдались серьезные побочные эффекты, в частности дискинезия (непроизвольные, нерегулярные движения, от кратковременных до медленных вращательных). О полноценных испытаниях на человеке можно будет говорить только тогда, когда станут ясны причины недостаточной эффективности трансплантации и устранены побочные эффекты.

Тем временем продолжают работы по усовершенствованию методов лечения, отличных от стимуляции глубинных структур мозга, а именно – подведение импульсов электрического тока. Несколько месяцев назад Стефан Пальфи (Stéphan Palfi) из госпиталя Фредерика Жолио при центре CEA в Орси сообщил, что мягкая стимуляция поверхности головного мозга облегчает состояние павианов с симптомами болезни Паркинсона. Сейчас во Франции и других странах идет подготовка к клиническим испытаниям этого метода.

Итак, несмотря на то, что многое в этиологии и патогенезе болезни Паркинсона остается неясным, успехи, достигнутые за последние годы в изучении этой патологии на клеточном, молекулярном и генетическом уровнях, вселяют большие надежды. В сочетании с традиционными методами лечения новые подходы, несомненно, облегчат состояние многих больных и предотвратят прогрессирование мучительного недуга. ■

Тимоти Колер, Джордж Гаммерман, Роберт Рейнолдс

# Моделирование древних сообществ





Лишь незначительный отрезок истории человечества известен нам по письменным источникам. О большей же ее части мы можем судить главным образом по данным археологии. Кропотливо исследовав руины, артефакты и останки, ученым удалось реконструировать картины жизни человечества, существовавшего тысячи и даже миллионы лет назад. Однако гораздо сложнее оказалось выявить процессы, порождавшие и формировавшие эти сообщества. Исследователи по-прежнему пытаются понять длинную цепочку причин, следствий и случайностей, протянувшуюся от наших человекообразных предков, живших 4 млн. лет назад (это были небольшие стада прямоходящих приматов, не имевших каменных орудий и едва ли умевших хорошо говорить), — и до современных народностей и культур.

С появлением компьютеров археологи начали проводить эксперименты по моделированию, пытаясь разобраться в древнейшей истории человечества. Логика весьма проста: вы имитируете процессы роста популяции и использования ресурсов, затем сравниваете выводы компьютерной программы с археологическими данными. В 70-х гг. была предпринята одна из первых подобных работ, речь идет об известном исследовании гибели классической цивилизации майя, которая с IV по IX в. нашей эры доминировала на обширной территории, протянувшейся через Мексику и Центральную Америку. Ученые из Массачусетского технологического института стремились выявить взаимосвязи между такими переменными, как общая численность населения и темпы возведения культовых сооружений. Но поскольку в исследовании использовались совокупные данные, оно не давало никакой информации о пространственных закономерностях, например, о том, в каких районах сельско-

хозяйственная деятельность майя была наиболее продуктивной.

Однако в последние годы появление языков программирования нового типа дало толчок к более детальному моделированию древних обществ. Объектно-ориентированные языки программирования (такие как, например, Java) позволяют исследователям создавать модели, которые имитируют совокупность взаимодействующих друг с другом хозяйственных единиц, представляющих отдельные семейные землевладения, расположенные на некоторой территории. Подобная схема дает возможность проследивать возникновение союзов, а также обмен ресурсами или информацией. Программисты могут задавать ряд ограничений, определяющих характер деятельности виртуальных хозяйств, которые, однако, обладают способностью и к самообучению.

Наши схемы воссоздают древнейшую историю юго-запада Северной Америки, в особенности района «четырех углов», где сходятся территории штатов Аризона, Нью-Мексико, Колорадо и Юта (см. врезку на стр. 68). Данный регион, родина древних индейских народностей пуэбло (иногда называемых анасази), обладает одной из знаменитейших археологических летописей в мире, в особенности за тысячелетний период, предшествовавший появлению здесь испанцев в XVI в. Культура пуэбло достигла вершины своего развития в XI—XII вв., здесь были построены уникальные наземные и пещерные города, однако к концу этого периода пуэбло неожиданно покинули свои поселения и мигрировали на юг в центральную Аризону, западный Нью-Мексико и северную часть долины реки Рио-Гранде.

Анализируя годичные кольца найденной при раскопках древесины, археологи могут достаточно точно датировать время постройки поселений. Кроме того, по спилам деревьев, пыльце и особенностям местной геологии палеоклиматологи

могут определять температурный режим и количество осадков в тот или иной период. В настоящее время у нас есть два проекта имитационного моделирования, основанного на использовании хозяйственных единиц, с помощью которых мы пытаемся реконструировать расселение индейцев пуэбло и характер землепользования в долине Лонг-Хаус в Аризоне и в центральной части плато Меса-Верде. Данные исследования позволят нам лучше понять жизнь древних индейцев пуэбло и, возможно, прольют свет на причину таинственной катастрофы, поглотившей их цивилизацию около 700 лет назад.

### Виртуальная история

Долина Лонг-Хаус, раскинувшаяся на 180 кв. км на северо-востоке Аризоны, была заселена индейцами пуэбло приблизительно с 1800 г. до н.э. и вплоть до 1300 г. н.э. Уже на протяжении целого столетия там ведутся интенсивные археологические работы. За последние 25 лет участники междисциплинарных групп, возглавляемых Джеффри Дином (Jeffrey Dean) из лаборатории исследования годичных колец древесины Аризонского университета, в деталях реконструировали природные условия тех времен. Основываясь на анализе закономерностей выпадения осадков, флуктуаций уровня подземных вод и цикличности эрозии и образования отложений, ученые оценили потенциальную урожайность кукурузы с каждого гектара долины за каждый год с 400 до 1450 г.

Наша модель долины Лонг-Хаус основана на имитирующей виртуальные хозяйственные единицы компьютерной программе, созданной Джошуа Эпштейном (Joshua Epstein) и Робертом Экстеллом (Robert Axtell) из институтов Брукинса и Санта-Фе. Мы начали с того, что перенесли на электронную карту долины информацию о природных условиях того ▶

времени, затем в случайном порядке разместили на ней хозяйственные единицы, каждой из которых был задан ряд таких характеристик, как, например, потребность в пищевых продуктах. Необходимые сведения были получены на основе археологических исследований, а также по результатам этнографических данных о современных представителях пуэбло и других групп, живущих натуральным хозяйством. Исходная модель предполагала, что среднестатистическое семейство состояло из пяти человек, каждый из которых употреблял в пищу по 160 кг кукурузы в год, причем использовать можно было лишь 64% потенциального урожая (с учетом ущерба от грызунов, насекомых и т.п.), а на хранение оставалось до 1,6 тыс. кг кукурузного зерна.

В программе были заложены простые правила, управляющие жизнью виртуального поселения. В частности, если ожидаемый урожай в совокупности с запасом зерна оказывался ниже объема, необходимого для существования семьи, хозяйство перемещалось на другой участок в долине. Когда дочь достигала 15 лет и предполагалось, что она выходит замуж и покидает родительский дом, создавалась новая «ферма»; семья должна жить не далее одного километра от своих полей и как можно ближе к источникам воды и т.д. Программа позволяла задавать

и некоторые другие переменные, такие как рождаемость, продолжительность жизни и др.

Моделирование показало, что расположение и размеры поселений, а также временные колебания численности населения (см. врезку на стр. справа) в значительной степени определялись природными условиями. Виртуальные поселения располагались почти в тех же местах, что и подлинные дома, обнаруженные и датированные археологами в долине Лонг-Хаус. Однако исходная модель отличалась от реальности в одном существенном отношении: согласно программе, численность населения должна была быть примерно в шесть раз больше, чем та, что получена из археологических источников. Однако когда мы внесли поправку на степень продуктивности земледелия с учетом урожайности древних сортов кукурузы и изменили рождаемость и продолжительность жизни, то предсказываемая плотность населения подошла гораздо ближе к фактической.

Исследования также выявили драматические последствия ухудшения природных условий в конце XIII в., когда длительная засуха совпала с падением уровня грунтовых вод. Количество виртуальных хозяйств упало с более чем 200 в 1250 г. примерно до 80 через полвека. Однако археологические данные говорят о том, что после 1300 г. долина Лонг-

Хаус практически совершенно опустела. Природные условия в то время вполне могли бы обеспечить жизнь небольшой группы, однако к тому времени все индейцы пуэбло либо погибли, либо ушли из этой местности. Мы можем лишь заключить, что, по всей вероятности, сокращение численности населения было обусловлено еще какими-то факторами – социополитическими, идеологическими или природными, – не учтенными в нашей модели. Возможно, голод вызвал эпидемии, или оставшиеся группы людей не могли более поддерживать свои культурные или религиозные институты и приняли решение покинуть долину.

### От землянок к «большим домам»

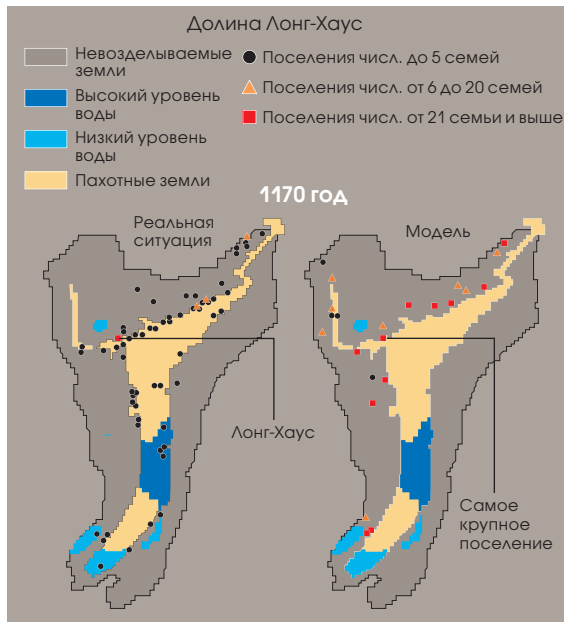
В комплексном эксперименте, начатом в институте Санта-Фе, моделируется древняя история юго-западного Колорадо. Большая часть района изначально представляла собой открытые пространства, заросшие полынью, кое-где покрытые редкими сосновыми и можжевеловыми лесами. Люди заселили эти места приблизительно около 600 г., в период, который археологи называют III эпохой плетения корзин. Семьи первых поселенцев обитали в жилищах, наполовину заглубленных в землю – нижние части стен плавно переходили в края неглубоких ям. Землянки были сгруппированы в маленькие поселки, которые, в свою очередь, объединялись в небольшие общины. Мясо, добытое на охоте, было такой же важной частью их рациона, как и продукты земледелия. Первопроходцев ждал успех, за ними последовали новые мигранты, за счет их притока численность населения быстро росла, а вместе с ней менялся и характер поселений. С конца VIII в. здесь начали появляться деревни с сотнями жителей, а к концу IX в. некоторые поселки стали еще крупнее. Мы стремились понять, почему люди поселились именно там и тогда. Было ли это

### ОБЗОР: ВИРТУАЛЬНАЯ АРХЕОЛОГИЯ

- С помощью современных компьютерных программ, берущих за основу виртуальные хозяйственные единицы, археологи создали модели, наглядно показывающие, какое влияние природные условия оказали на историю индейцев пуэбло на юго-западе США.
- Модели показывают, что таинственное исчезновение населения Меса-Верде и других мест нельзя объяснить одной лишь суровой засухой, случившейся в конце XIII в.
- Чтобы оценить роль других факторов, повлиявших на жизнь индейских племен, исследователи строят новые модели, которые демонстрируют последствия охотничьего промысла, заготовки дров, а также такие культурные процессы, как торговля и обмен подарками.

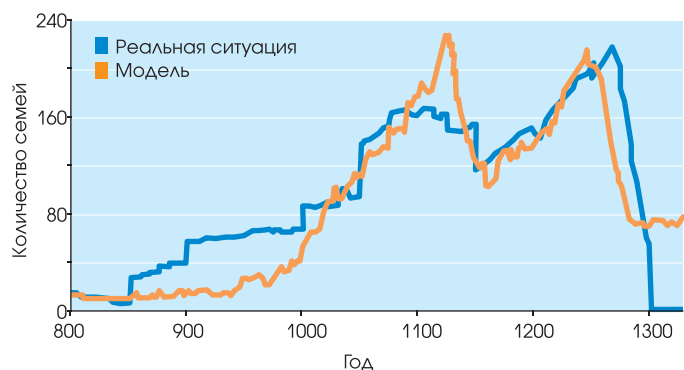
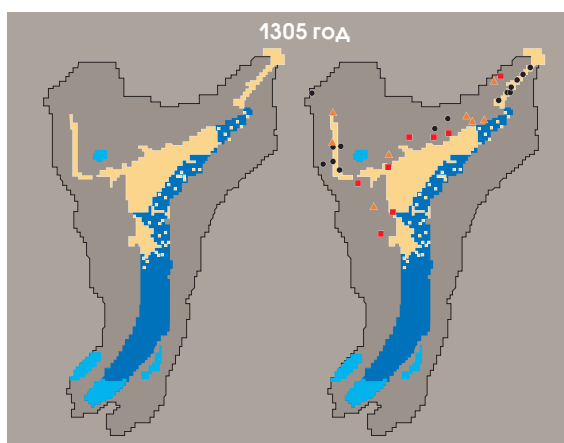
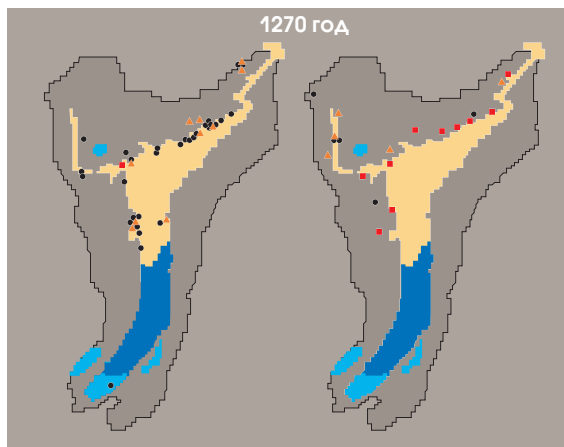
## ДОИСТОРИЧЕСКИЕ ВЗЛЕТЫ И ПАДЕНИЯ

Компьютерная модель воспроизводит расположенную на северо-востоке штата Аризона долину Лонг-Хаус, где индейцы пуэбло жили примерно с 1800 г. до н.э. до 1300 г. н.э. Имитируя процессы земледелия и характер поселения, ученые пытаются объяснить, почему около 700 лет назад индейцы пуэбло неожиданно покинули долину.



Выстраивая модель, исследователи ввели в нее данные, касающиеся природных условий – количества осадков, колебания уровня подземных вод и т.д., привязав их к электронной карте долины. Программа в произвольном порядке разместила на карте отдельные хозяйства и прослеживает их перемещения в поисках более подходящей земли для выращивания кукурузы. Модель отмечает скопление населения вдоль северо-западной границы долины к 1170 г. н.э., что соответствует выявленному археологами реальному распределению поселений (вверху слева). Хотя виртуальные поселки стоят кучнее, чем настоящие, местоположение самого крупного поселения в модели лишь на 100 м отстоит от самых больших в долине развалин, называемых Лонг-Хаус, т.е. «Длинный Дом» (вверху).

К 1270 г. эрозия пахотной почвы заставляет воображаемые хозяйства покинуть южную часть долины, что опять же совпадает с археологическими данными (посередине слева). В последующие годы, однако, расхождения между виртуальной и реальной жизнью усиливаются. В модели поредевшее население переживает засуху; в действительности же все обитатели долины исчезли к 1305 г. (внизу слева). Ученые внесли в программу некоторые коррективы – и количество виртуальных хозяйств приблизилось к действительности, однако после 1300 г. их число все равно не совпадает (внизу). Возможно, выжившие индейцы пуэбло покинули долину вследствие неких социополитических или идеологических факторов.





## ОБ АВТОРАХ:

**Тимоти Колер** (Timothy A. Kohler), **Джордж Гаммерман** (George J. Gumerman) и **Роберт Рейнолдс** (Robert G. Reynolds) использовали свои разносторонние таланты и знания для решения проблемы моделирования древних обществ. **Колер** – профессор кафедры антропологии Университета штата Вашингтон и научный сотрудник Археологического центра каньона Кроу в Кортеше, штат Колорадо, – более 20 лет проработал на юго-западе США, прежде всего в юго-западном Колорадо и северной части долины реки Рио-Гранде в штате Нью-Мексико. **Гаммерман**, и.о. президента Школы американских исследований в Санта-Фе, занимается археологией на юго-западе уже более 30 лет и опубликовал более 20 книг на эту тему. **Рейнолдс** – профессор вычислительных систем Университета Уэйна и научный сотрудник музея антропологии при Мичиганском университете в Анн-Арбор. Он написал две книги и множество статей по культурным алгоритмам. Авторы выражают благодарность за поддержку Национальному научному фонду США.

следствием экономических преимуществ данной местности? Или возникла потребность в коллективной обороне?

Все селения были покинуты около 900 г., когда большинство индейцев пуэбло ушло с насиженных мест. Тому могло быть две возможные причины: исчезновение окрестных лесов и череда холодных и засушливых лет. (В норме климатические условия здесь варьируют от теплой сухой погоды до прохладной и влажной, а холод и засуха создают значительные проблемы для местного земледелия, которое использует естественные осадки, а не искусственное орошение.) В X–XI вв. условия для сельскохозяйственной деятельности улучшились как в этой местности, так и по всему северу региона, и численность населения снова начала медленно возрастать. В этот период все большее значение приобретало разведение одомашненной индейки. Большинство людей по-прежнему жило в небольших деревушках, сгруппированных в общины, центральные поселения которых к концу XI в. стали крупнее и многочисленнее. Похоже, что на характер застройки многих из них оказали влияния сложно организованные поселки индейцев пуэбло в каньоне Чако к югу от этих мест, на

Пещерные города возникли в Меса-Верде в середине XIII в., когда индейцам пуэбло потребовались более надежные укрепления. Однако к 1300 г. эти поселения были покинуты.

северо-западе современного штата Нью-Мексико. В некоторых селениях Колорадо встречаются так называемые «большие дома» – строения в несколько этажей с многочисленными комнатами, которые похожи скорее на постройки в Чако, чем на местный архитектурный стиль. В середине XI в. на данной территории появляются участки, огороженные частоколом, – возможно, речь идет об оборонительных сооружениях, построенных для сопротивления экспансии со стороны Чако, которое, впрочем, оказалось в конечном счете неудачным.

«Большие дома» перестали строить около 1135 г., когда началась суровая засуха, продлившаяся 45 лет. Доведенные до отчаяния люди стали крайне жестокими, возможно, дело доходило даже до каннибализма. Плотность населения несколько снизилась, однако характер поселений сохранился прежним: вокруг центра общины группировались несколько небольших деревень. К концу XIII в. большинство наиболее важных поселков переместилось в места, более пригодные для обороны – в устья каньонов или в расселины; примером могут служить знаменитые пещерные города в национальном парке Меса-Верде. Как и повсюду на территории северного Юго-запада, люди исчезли из этих мест в конце XIII в., когда последние из них, спасаясь от неблагоприятных климатических условий и царившего насилия, бежали в устья каньонов на юг и на восток. Однако причины резкого исчезновения населения до сих пор остаются одной из классических археологических загадок.

Наша модель охватывает район площадью в 1800 кв. км к северо-западу от национального парка Меса-Верде. Мы разделили виртуальный

ландшафт на 45 тыс. квадратных участков со стороной 200 метров и задали потенциальную урожайность кукурузы для каждого из них с учетом типа почвы, высоты над уровнем моря и количества осадков в год. (Карла Ван Вест (Carla Van West), сотрудник центра статистических исследований в Тусоне, штат Аризона, рассчитала ежегодную урожайность по всей исследуемой местности в рамках работы над диссертацией на степень доктора философии в Университете штата Вашингтон. Вначале мы рассматривали лишь период с 900 по 1300 г. Как и для модели долины Лонг-Хаус, мы задали случайное распределение хозяйств по территории, причем они должны были находиться в местах с наиболее плодородной почвой или рядом с ними, при условии, что земли не были никем заняты ранее.

Картина распределения поселений в общих чертах совпадала с их истинным расположением, подтвержденным археологическими исследованиями. Затем мы ввели в программу дополнительное условие: при выборе места для поселения виртуальные индейцы должны были

учитывать доступность воды (разумное предположение в полупустынной местности) – и результаты стали еще ближе к реальности. Наконец мы скорректировали модель таким образом, чтобы она принимала во внимание постепенное истощение почвы в условиях натурального хозяйства, которое заставляло бы земледельцев периодически искать новые участки земли. Степень совпадения с археологическими данными стала еще выше.

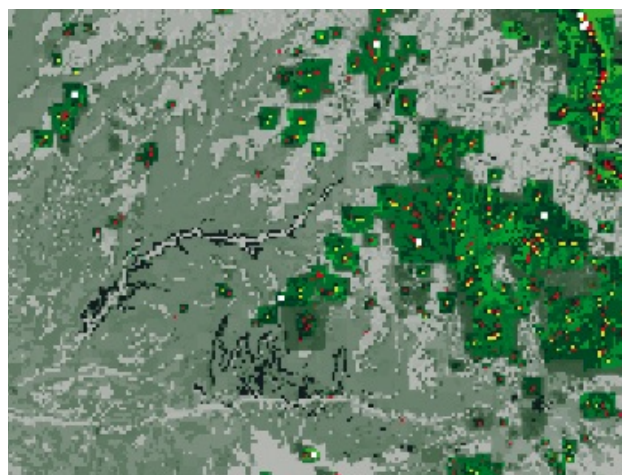
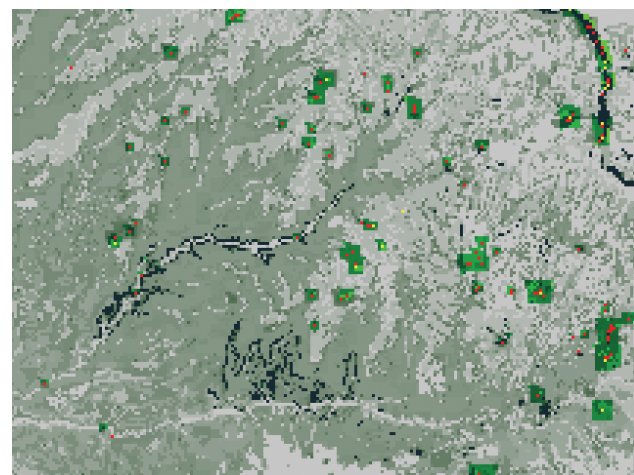
И все же ни в одной из наших моделей не произошло такого драматического исчезновения населения, которое в реальности случилось в районе Меса-Верде в конце XIII в. Какие же причины могли привести к катастрофе? Один из факторов, не учтенных в нашей модели, – распределение поверхностных вод, которое, вероятно, менялось по мере изменения климата. В конце XIII в. все деревни индейцев пуэбло концентрировались вокруг источников, и даже временное их пересыхание могло обернуться катастрофой. Более того, исчезновение населения на исследуемой территории (и на северном Юго-западе в целом)

приблизительно совпало с началом малого ледникового периода, длившегося приблизительно с 1300 по 1850 г. Его влияние на эти области пока еще остается не совсем понятным. Земли, о которых идет речь, расположены высоко над уровнем моря около северной границы культивирования кукурузы в ту эпоху, поэтому даже незначительное снижение температуры во время роста и развития растений или сокращение вегетативного периода могло иметь самые тяжелые последствия.

Работа, проводящаяся в настоящее время аспирантами Университета штата Вашингтон Дэвидом Джонсоном (David Johnson) и Джесоном Кованом (Jason Cowan), позволила сделать важный вывод: наступил момент, когда живущие на территории Меса-Верде индейцы пуэбло начали испытывать острую нехватку дров. Джонсон и Кован предположили, что каждое хозяйство сжигало 1,1 т древесины на человека в год – примерно столько же, сколько в Пакистане на той же широте и высоте над уровнем моря. Моделирование показало, что за 700 лет на большой ▶

Использование лесов древними обитателями Меса-Верде показано на компьютерной модели, описывающей заготовку дров индейцами пуэбло. Модель предполагает, что в поселках (они представлены на карте красными, желтыми и белыми точками) сжигали по 1,1 т древесины на человека в год. В 650 г. н.э. (слева), когда виртуальное население еще невелико,

на большей части района имеется большое количество сухих деревьев (серые области). Однако через 250 лет, на протяжении которых все более многочисленное население постоянно собирало валежник (справа), территории, окружающие поселения, оказались лишены сухой древесины, осталась лишь живая растительность (показана зеленым цветом).



территории вокруг поселений все деревья должны были быть уничтожены (см. врезку на предыдущей странице). В настоящее время мы работаем над созданием программ, моделирующих долговременные последствия охоты на основных промысловых животных данного региона – оленей, кроликов и зайцев. Предварительные исследования определенно указывают на то, что в результате деятельности человека почти все олени в окрестностях должны были оказаться уничтоженными, что могло бы объяснить, почему с начала X в. в рационе индейцев пуэбло столь большое значение приобрела индейка.

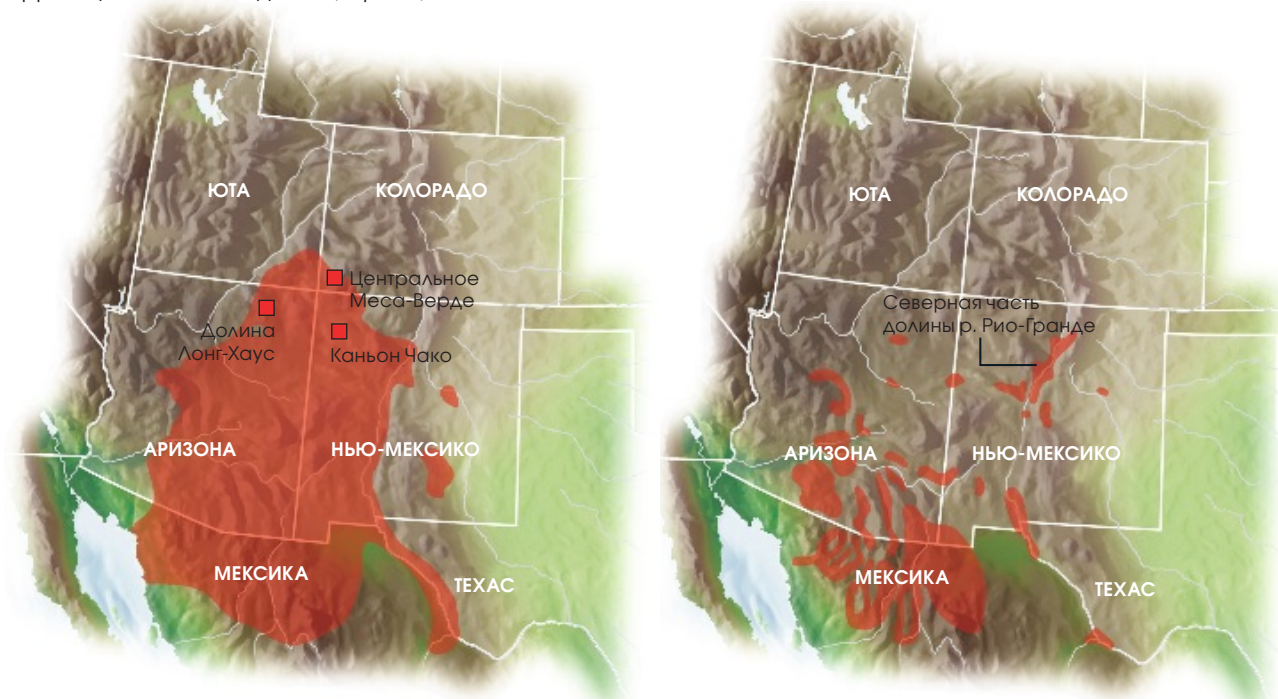
Одно из важных преимуществ компьютерного моделирования состоит в том, что оно позволяет экспериментировать – роскошь, недоступная иными средствами в исторических науках, в том числе

в археологии. Ученые могут постепенно добавлять детали в свои модели, проверяя воздействие новых природных и социальных факторов, чтобы убедиться, соответствует ли виртуальная история археологическим данным. В настоящее время мы отодвинули «подопытный» временной диапазон в прошлое до 600 г. и изучаем расцвет и закат древних поселений индейцев пуэбло. В Археологическом центре каньона Кроу в Кортесе, штат Колорадо, недавно завершились новые полевые исследования, включавшие обширную программу проверки датировки более чем 3300 поселений, найденных на интересующей нас территории. Эта работа значительно расширила наши сведения относительно распределения поселений в различные времена и дала более подробные карты, которые можно сравнивать с результатами моделирования.

Тем временем Кеннет Кольм (Kenneth Kolm), гидролог из Университета штата Вашингтон и сотрудник компании *BBL, Inc.*, и Шон Смит (Shaun Smith), аспирант Горнорудной школы Колорадо, совместными усилиями создают модель, позволяющую оценить влияние колебаний температур и количества осадков в исследуемом районе на местные источники и ручьи. Объединив результаты их работы с нашей программой, мы сможем понять, как перераспределение водных ресурсов влияло на изменения мест обитания людей и их хозяйственную деятельность. Мы также намерены учесть влияние температур на урожайность. И, наконец, самое увлекательное в нашем эксперименте: мы пытаемся моделировать некоторые социальные и культурные факторы, формировавшие общество индейцев пуэбло.

## ТАИНСТВЕННОЕ ИСЧЕЗНОВЕНИЕ

В конце XIII в. все северные территории современных штатов Юта и Колорадо были заселены земледельческими народами, к услугам которых были и плоскогорья, и долины рек (слева). Однако к началу XV в. индейцы пуэбло покинули северную часть территории и обосновались преимущественно в речных долинах, где возможно ирригационное земледелие (справа).



## Моделируем культуру

Один из пионеров моделирования в археологии, Джим Доран (Jim Doran) из Эссекского университета в Англии, однажды заявил, что «если и возможно создать всеобъемлющую модель, то лишь трудом многих людей на протяжении многих десятилетий». Исследования, описанные в данной статье, не исключение. Культурные алгоритмы – основа моделирования социальных и культурных процессов – возникли благодаря усилиям Кента Фленнери (Kent Flannery) из Мичиганского университета в Анн-Арборе по созданию схемы возникновения сельского хозяйства в древней истории Центральной Америки. Фленнери предположил, что переход от охоты и собирательства к примитивному земледелию в мексиканской долине Оахака начался в тот момент, когда люди научились планировать мероприятия по возделыванию полей и сбору урожая. Один из нас (Рейнолдс) использовал модель Фленнери, взяв за основу данные об остатках древних растений, обнаруженных в пещере в Оахаке, известной под названием Гвила Наквитз. По замыслу ученого, каждое хозяйство разрабатывало собственные земледельческие схемы, наиболее эффективные из них постепенно переходили в «пространство веры», где индивидуальный опыт обобщался, формируя общие правила, которыми с течением времени начинали руководствоваться и другие хозяйственные субъекты виртуального мира. Модель наглядно продемонстрировала совокупное изменение планов деятельности, которое вполне сопоставимо с археологическими данными о переходе племен к целенаправленному ведению сельского хозяйства.

Рейнолдс и Зияд Кобти (Ziad Korti) из Виндзорского университета в Онтарио включили в модель Меса-Верде культурные алгоритмы, чтобы выяснить, что произойдет, если родственные группы, ведущие отдельные хозяйства, начнут обме-

ниваться кукурузой. Антрополог Маршалл Салинс (Marshall Sahlins) из Чикагского университета назвала такое явление «обобщенной реципрокностью», что означает обмен подарками между близкими родственниками, не подразумевающий полного возмещения стоимости (мы же, например, не требуем, чтобы наши дети расплачивались с нами за игрушки, одежду или учебу в колледже). В ходе эксперимента виртуальные хозяйства следуют определенным культурным алгоритмам, решая, с кем из родственников они готовы взаимодействовать. При этом учитывается прошлый опыт наиболее выгодного для обеих сторон сотрудничества. Когда воображаемым семьям удается создать обобщенные представления о наилучших вариантах обмена, это знание переходит в пространство веры, где становится доступным членам других хозяйств.

С помощью модели мы обнаружили, что наличие подобных родственных связей обычно приводит к повышению общей численности населения. Можно предположить, что взаимопомощь позволяла людям легче справляться с превратностями сельскохозяйственной деятельности. В ряде экспериментов мы ограничивали возможность кланов перемещаться на большие расстояния в поисках более пригодных мест для жизни, что отражает опасности, подстерегающие отдельное семейство, оказывающееся во враждебном социальном окружении. В таких ситуациях объем обмена в пределах каждой родственной группы резко увеличивается, однако связи между общинами исчезают, в результате чего популяция в целом оказывается более уязвимой для капризов природы. К тому же кластеризация хозяйств затрудняет заготовку дров и охоту, поскольку земли, окружающие общины, быстро истощаются.

Наши эксперименты по моделированию еще не настолько совершенны, чтобы определить точную совокупность причин, приводивших к

периодической агрегации населения в районе Меса-Верде или к массовому исходу жителей, случившемуся между 1260 и 1280 г. Однако компьютерные модели свидетельствуют о том, что люди, жившие в этих местах (и, вероятно, также на остальной территории северного Юго-запада), столкнулись в XIII в. сразу с целым рядом трудностей. Негативные тенденции, видимо, лишь усиливались с течением времени: например, усиленная вырубка лесов скорее всего способствовала исчезновению диких промысловых животных и некоторых важных видов съедобных растений, таких как сосновые орешки. Оскудение рациона, в свою очередь, усилило зависимость от кукурузы и обмена ею, а также от домашней индейки, которую, вероятно, кормили той же кукурузой. По всей видимости, в условиях голода обмен зерном служил еще и основным элементом, сглаживающим социальную напряженность, в таком случае сам факт выживания сообщества оказывался в рискованной зависимости от превратностей ведения сельского хозяйства.

Хотя создаваемые нами виртуальные миры в значительной степени упрощают реальность, они все же позволяют воспроизвести и проследить невероятно сложные закономерности. В частности, оказалось, что хозяйственная деятельность людей нередко оказывает пагубное воздействие на окружающую среду, что ставит последующие поколения в весьма затруднительное положение, а в долгосрочном плане – и вовсе под угрозу вымирания. Подобные эксперименты не только открывают перед нами тайны далекого прошлого, но и способны указать пути сохранения природных ресурсов. Например, модели, имитирующие последствия исчезновения лесов в районе Меса-Верде, могут помочь при разработке планов охраны лесов в развивающихся странах. Благодаря компьютерному моделированию уроки, извлеченные из опыта древних сообществ, могут быть применены в современном мире. ■



Свет огня, каждодневно рассеивающий тьму и мрак... Это привычно, буднично и необходимо для человека в любую эпоху. Люди постоянно были вынуждены обращаться к осветительным приборам и думать о том, как сохранить их неяркое, мерцающее пламя. Шло время, века сменялись веками, а вместе с ними происходили изменения и в способах поддержания света.



Денис Журавлев, Лоран Хршановский

# ДА БУДЕТ СВЕТ!

**Н**ет никаких сомнений, что первоначально люди в качестве осветительных приборов использовали пламя костра, о чем свидетельствуют остатки древних очагов, которые, несомненно, выполняли функцию не только отопительного, но отчасти и осветительного прибора и факела. Первобытный человек, получив в свои руки божественный огонь, смог не только обогреть и накормить себя, но и впервые осветил мрачные своды своей пещеры.

## Очаг и факел

Исследователями обнаружено множество изображений факелов греческого и римского времени, хотя они сами по понятным причинам до нас не дошли. Особых изменений в конструкции этого простейшего осветительного прибора практически не произошло, за исключением собственно горючих материалов. Основной недостаток факела – копоть, поэтому уже древние греки задумывались о вентиляции помещений и строили некие дымоходы. «Сделанный из меди ствол финикового дерева, устроенный над лампадой и доходящий до крыши, вытягивает копоть наружу», – писал древнегреческий историк Павсаний. Для отвода дыма из топившихся по черному домов существовали специальные отверстия.

О значении факела в жизни древнегреческого общества может свидетельствовать и тот факт, что в Афинах во время священного праздника Великих Панафиней устраивали состязания в лампадодромии – беге с факелами, в котором для победы нужно было не только прибежать первым, но и сохранить пылающий огонь. В культуре Древнего Востока факелы играли особую роль. Царь Вавилона Хаммурапи, подобно своим предшественникам, начал свое правление с объявления «справедливости», т.е. прощения всех долгов. Стоя на вершине зиккурата, он зажег «золотой факел», видя огонь которого, жители окрестных городов и деревень также зажигали факелы

и передавали радостную весть по всей стране. Кстати, такого рода световая сигнализация активно применялась и в военном деле во всех странах Древнего мира, оповещая внутренние районы о вражеском нападении.

Факелы помогали решать проблемы освещения и в более позднее время, вплоть до Средневековья. Спрос на них был всегда высок. Так, константинопольские монахи в V в. специально изготавливали их на продажу, а полученные деньги вкладывали в закупку нитей и прочего необходимого сырья. «Книга эпарха» – сборник законов для константинопольских торговцев и ремесленников конца IX в. – фиксирует, что часть дохода, приносимого эргастирием (мастерской), отчислялась на приобретение факелов. ▶

Круглый светильник римского времени.  
Вторая половина I – первая половина II в. н.э.





Римские «круглые» светильники, покрытые характерным для первых веков нашей эры красным лаком. Найдены в различных городах Северного Причерноморья. I–II вв. н.э.

### Первые лампы

Использование глиняных обожженных сосудов специальной формы в качестве осветительных приборов началось в Леванте в конце III тыс. до н.э. Немного позднее, в позднеминойский период, они получили распространение и на Крите. Археологи обнаруживали их в незначительных количествах при раскопках различных греческих городов в слоях X–VIII вв. до н.э. В более поздних пластах они встречаются очень часто, что свидетельствует о том, что они начали производиться массово с VII в. до н.э.

### ОБ АВТОРАХ:

**Журавлев Денис Валерьевич**, старший научный сотрудник Государственного Исторического музея. Специалист по археологии и истории Северного Причерноморья античного времени, истории освещения и осветительных приборов. Много лет ведет археологические раскопки в Крыму. Вице-президент международной Лихнологической ассоциации. Автор и соавтор трех монографий и около 200 научных и научно-популярных статей.

**Хршановский Лоран**. Сотрудник музея г. Олтен (Швейцария). Специалист по проблемам городской планировки римского времени и истории освещения с древнейших времен по настоящее время. Работал в археологических экспедициях в Остии (Италия) и Лептис-Мagne (Ливия). Главный инициатор создания международной Лихнологической ассоциации. Автор и соавтор 4 монографий и более 30 статей.

В качестве топлива в светильниках использовались животный жир и масло (в первую очередь оливковое). Устройство и конфигурация осветительных приборов зависели от различных видов горючих материалов. Так, светильники, заправляемые животным жиром, всегда были открытыми, и фитиль, изготовленный из растительных волокон, свободно плавал в жире, а иногда его загибали на стенку светильника. Об этом свидетельствуют следы пламени, обнаруженные на подавляющем большинстве экземпляров. Часто светильники имели толстые стенки, более того, многие лепные лампы были рассчитаны именно на животный жир. Можно привести любопытный пример: при раскопках «варварских» поселений и могильников вокруг древнегреческого города Херсонеса светильников было обнаружено крайне мало. Нет никаких сомнений, что это связано с приверженностью этих племен к иным типам осветительных приборов – открытым площадкам, для которых использовался животный жир, что, видимо, объяснялось не только другой культурной традицией поздних скифов, но и сравнительно высокими ценами на оливковое масло, которое заправлялось в светильники античного типа.

Несмотря на сравнительно небольшие размеры, в зависимости от толщины фитиля светильник мог гореть от 30–40 минут до 2–3 часов, давая сравнительно немного света. Тем не менее современные эксперименты показали, что при двух зажженных светильниках вполне можно читать.

В связи с несложностью изготовления, по всей видимости, светильники производились там же, где и керамика, и практически не требовали дополнительного оборудования. Специализированные мастерские по изготовлению осветительных приборов появились только в эллинистическое время, характерный пример – широкомасштабное производство светильников на полуострове Книд в Малой Азии.

Наиболее распространенный тип ранних греческих ламп – это открытые светильники с втулкой в центре (конической или цилиндрической формы). Эта втулка делалась для пальца руки, присутствие которого обеспечивало светильнику большую устойчивость при переноске, или для подставки, на которой было легче закрепить лампу (см. рис. на стр. 73). Большая часть светильников имела ручки (см. рис. на стр. 75), форма которых часто зависела исключительно от моды, пожеланий заказчика или вкуса мастера. Так, в древнегреческой вазописи мы находим изображения женщины, держащей светильник с горизонтальной ручкой (аттический краснофигурный кувшин V в. до н.э., музей Метрополитен), или Гермеса, несущего лампу с вертикальной ручкой (колоколовидный кратер, музей Ватикана). Такие же по форме светильники могли изготавливаться и без втулок. Большинство светильников VI–V вв. до н.э. были низкими и вмещали сравнительно

небольшой объем масла. Со временем вместительность светильника становилось глубже (соответственно, объемнее), а стенки закрывали его все больше и больше.

С распространением в эллинистическое время технологии изготовления светильников совершенствуется, и их начинают украшать цветами, розетками, разнообразными пальметтами. Поверхность светильника снаружи покрывается блестящим лаком черного или красного цвета. Иногда такое же покрытие делается и изнутри – для того, чтобы масло не впитывалось в пористую глину (см. рис. справа).

### Светильники Римского времени

Расцветом глиняного светильника стала эпоха Римской империи. Превращение колоссальных даже по современным меркам территорий в единый рынок стимулировало не только формирование вкусов и традиций, но и появление первых мощных промышленных центров по производству керамической продукции, способных заполнить своими нехитрыми изделиями все



Чернолаковые светильники были изготовлены в Афинах. Ольвия, Украина. IV–III вв. до н.э.

Первобытный человек, получив в свои руки божественный огонь, смог не только обогреть и накормить себя, но и впервые осветил мрачные своды своей пещеры.

Древнегреческие открытые светильники, изготовленные на гончарном круге. Втулка в центре этих светильников имела соответствующее углубление изнутри и облегчала переноску светильника. Первоначально такие светильники попадали в Северное Причерноморье из ионийских городов Малой Азии, но затем было налажено собственное производство. VI–V вв. до н.э.



Средиземноморье. Не случайно именно с этого момента во главу угла ставится компактность светильника и легкость в изготовлении, что снижало его стоимость и облегчало транспортировку. В мировой империи товары, изготовленные в Италии, Греции и Египте, с легкостью доставлялись вездесущими римскими торговцами на край ойкумены, в Крым и на Кавказ.

Щитки светильников украшались различными изображениями – от деяний божеств до гладиаторских боев и эротических сцен (см. рис. на стр. 75). Это настоящая энциклопедия античной жизни. На лампе из Херсонеса изображена обнаженная Венера, которой стоящий перед ней Эрот подает меч и шлем. Этот сюжет тесно связан с символом политической программы Юлия Цезаря, всегда представлявшего Венеру основательницей рода Юлиев. По всей видимости, кто-то из херсонеситов таким образом демонстрировал свою политическую лояльность римскому диктатору, давшему Херсонесу независимость.

### Клеймо

На светильниках известных мастеров ставилось клеймо мастера. Нелегальное копирование чужой, популярной торговой марки – отнюдь не изобретение Нового времени, и в римских провинциях нередко продавались ▶

Попав на рынок, любой человек мог выбрать себе светильник по вкусу, настроению и назначению. Из корзинок, стоявших вокруг торговца, можно было извлечь лампу, украшенную изображением божества (олимпийцы мирно соседствовали с египетскими богами, иудейской менорой или христианской священной монограммой), животного или фривольной сценки, которая и сегодня может заставить покраснеть неискушенного зрителя. По всей видимости, в мастерской можно было и заказать светильник с любым изображением.



## С помощью зажженных факелов передавались как радостные вести, так и сообщения о нападении врага.

кривые лампы с плохо пропечатанным рисунком, на которых гордо стояло клеймо, например, североиталийских мастерских или просто беспорядочный набор букв. Это легко можно проследить на основании так называемых *Firmalampen*, широко распространенных на территории современных Румынии и Болгарии.

Глиняные лампы были в каждом жилом доме, мастерской, лавке: их вывешивали перед входом, в портиках, ставили в ниши в стенах или просто на землю, у дверных порогов. Римский историк Аммиан Марцеллин от-

мечал, что освещение Антиохии ночью по силе не уступало дневному свету. Разумеется, светильник занимал свое законное место и в римских публичных домах – лупанарах, часто помимо ложа являясь единственным украшением скромного интерьера.

### Канделябры

В качестве парадных осветительных приборов, которые использовались в быту только верхушкой общества, служили бронзовые канделябры. Обычно такой канделябр изготовлялся в виде многогранного стержня на трех львиных лапах, часто он венчался ионийской капителью со стоящей на ней фигуркой или подставкой, на которой можно было крепить свечу или поставить обычный глиняный светильник. Интересно, что примитивные канделябры использовались и варварами, например сарматами. Чаще всего они были железными, выкованными местными мастерами, которые едва ли переживали за красоту своих изделий.

### Негасимый свет

Разумеется, огонь освещал не только жилой дом. Можно предположить, что в храмах горел негасимый огонь в честь различных божеств. «А золотой светильник для богини сделал Каллимах. Наполнивши маслом лампаду, афиняне ожидают того же дня в следующем году; масла же в лампаде хватает на все время от срока до срока, при этом лампада горит и днем и ночью» (Paus., I, XXVI, 6–7). Алтарь и светильник неоднократно упоминались вместе древними авторами. Использовались светильники и в обрядах, посвященных подземным богам, применялись они и в колдовстве. Отзвуком последнего стала

Боспорские многорожковые светильники. Пантикапей. I в. до н.э.



арабская сказка про лампу Аладдина – достаточно просто потерять старый медный светильник, чтобы оттуда появился всемогущий джинн.

Кроме того, свет лампы провожал умершего в последний путь, тусклым мерцанием освещая дорогу в вечность. Даже весталкам, которых за нарушение обета девственности заживо замуровывали в могилу, вместе с небольшим запасом еды и воды оставляли мерцающую лампу.

### Лампой считаюсь одной

Для освещения общественных построек и храмов наряду с факелами и обычными лампами могли использоваться многорожковые светильники (см. рис. внизу на стр. 74). Сравнительно небольшой объем емкости для масла в сочетании с большим количеством рожков, в каждом из которых пылал небольшой язычок пламени, требовал постоянного пополнения масляным жиром. Это может косвенно свидетельствовать в пользу сакральной нагрузки, которой мог наделяться осветительный прибор с несколькими рожками. В то же время нельзя не вспомнить одну из известных эпитаграмм римского мастера сатиры Марциала (XIV, 41), где дается несколько другая версия назначения многорожковых светильников:

*Хоть освещаю я всю пирушку своими огнями  
С множеством рылец для них, лампой считаюсь  
одной.*

### Стеклянные лампы

В позднеантичное время прослеживается тенденция огрубления форм глиняных светильников, а также их декора. Изделия, вышедшие из рук мастера, наполня-

Многорожковый светильник, найденный в одном из поселений на территории современного Таманского полуострова. IV–V вв. н.э.



Грубо изготовленные боспорские копии, имеющие импортный прототип, с изображением человеческого лица. Найдены в Пантикапее. IV в. н.э.

лись новым духом – духом холодной, бездушной стилизации. Все было рассчитано на массовое производство и сбыт, на спрос со стороны самых широких слоев населения с их нехитрыми запросами.

Бронзовые люстры – лампадофоры византийского времени с многочисленными рожками, оканчивающимися горизонтальными кольцами, – явно предназначались для установки стеклянных лампад. Именно в это время исчезает прежде столь важная в культовом обряде роль глиняных ламп. По словам Павла Силенциария (563 г.), великолепие интерьера собора Св. Софии в столице Византийской империи, Константинополе, составляли стеклянные лампы, в том числе резные, а византийский историк Феофилакт Симокатта, описывая похороны императора Тиверия II в 582 г., вспоминал, как всю ночь длилось печальное пение псалмов «при зажженных лампадах».

Уже с IV в. в широкое обращение во всех провинциях необъятной Римской империи входят стеклянные кубки с коническим или цилиндрическим туловом, которые бытовали до VI в. Об их применении как осветительных приборов говорят находки такого рода лампад со следами масла на стенах, а также изображения подобных сосудов, где они подвешены на концах иудейского семисвечника – меноры. С самого начала эти изделия не уступали в популярности глиняным светильникам. В них наливали воду, а поверх нее – слой масла, в который опускали фитиль.

С конца V в. и до VIII в. среди осветительных приборов стал доминировать тип лампы с полусферическим или цилиндрическим широким туловом и узкой ножкой, которая вставлялась в лампадофор. Судя по ▶



Лепной светильник, обнаруженный в городе Кепы на Таманском полуострове. Этот светильник можно было использовать и как подставку для восковой свечи, закрепляемой в центральное отверстие, и как вместительное для фитильного светильника, заполняемое животным жиром.

нопениями». Свечи были разные – обычные, стоившие дешевле, и более дорогие, со специальным покрытием, иногда даже украшенные христианскими символами. Товар продавался на вес.

Окончательная победа свечей на рынке осветительных приборов в византийском обществе скорее всего могла произойти из-за потери источников внешних поставок оливкового масла в ходе захватнических походов Арабского халифата. Потеря Византией своих африканских владений – давних основных экспортеров оливкового масла – вполне могла склонить чашу рыночных весов в пользу восковых свечей.

Судя по всему, специальность свечника (кирулария) в византийском городе была широко распространена и, по-видимому, давала неплохой доход. Кируларий производил и продавал свечи разного вида, качества, стоимости, а также занимался переливанием сломанных. Когда диакон Стефан, купивший «за большие деньги» в лавке свечника дорогие свечи, поскользнулся и сломал их, он «вернул обломки в эргастирий». Использование свечей старались делать безотходным: воском как ценным сырьем дорожили и, собрав в храме огарки и оплавившийся на края подсвечника воск, вновь пускали его в переработку.

## Смрад свечей не смущал обитателей средневековых замков, мирское существование было прелюдией к вечной жизни, наполненной светом.

всему, именно такие осветительные приспособления имел в виду сирийский хронист Йешу Стилит, когда писал, что Анастасий, градоначальник Эдессы, в конце V в. приказал ремесленникам накануне каждого воскресенья подвешивать над лавками кресты с пятью зажженными «светилами».

### Свеча горела...

Падение производства традиционных глиняных светильников говорит о преобладании с эпохи раннего Средневековья новых способов освещения, уверенно теснивших старые. Помимо стеклянных лампад такую роль могли сыграть только свечи, которые постепенно нашли свое наиболее широкое применение среди осветительных приборов. Много восковых свечей требовалось в церковные праздники, во время торжественных событий, похорон, ярмарок, собиравших массу людей. К примеру, когда тело Симеона Стилита в 459 г. готовили к захоронению, «...горы не было видно от толпы, свечей, фимиама и горящих лампад», а затем навстречу траурной процессии вышел весь город «...со свечами и пес-

Светильник с рельефным изображением птицы. Херсонес. V–VI вв. н.э.



Так называемые рубчатые светильники. Этот тип осветительных приборов был очень распространен в Северном Причерноморье, где они, возможно, и производились. Некоторые ученые полагают, что линии, идущие от центрального отверстия, символизируют солнечные лучи.

Последующие века не принесли видимых новшеств в конструкцию осветительных приборов. Надвигавшееся мрачное европейское Средневековье вполне обходилось факелами и свечами, причем последние чаще были салными. Исходящий от таких свечей смрад не смущал средневековых обитателей замков и городских домов, вся мирская жизнь которых была лишь прелюдией к вечной жизни, наполненной ярким светом...

### Древняя Русь

В Древней Руси основным осветительным прибором служила зажженная лучина, закрепленная на подставке, применялись также открытые светильники, заполняемые жиром. В богатых домах могли быть бронзовые лампы или привозные многоярусные светильники – люстры. Воск, традиционно служивший важным экспортным товаром, был также широко распространен на Руси, ведь бортничество было одним из важнейших занятий населения. Как следствие восковая свеча освещала и дом богатого горожанина, и храм. В более позднее время зажженную лучину вставляли в специальные подставки – кованые из железа светцы, которые освещали даже боярский дом. Несовершенные осветительные приборы многократно приводили к пожарам в полностью деревянных городах. Так, русские летописи пестрят упоминаниями о том, как, например, «Москва от одной свечки сгорела».

### Новое время

На пороге стояло Новое время, когда с изобретением газовых горелок, керосиновых ламп, а затем и электричества принципиально изменилась вся система освещения, а прежние осветительные приборы канули в Лету. Впрочем, до сегодняшнего дня популярны свечи, небольшие лампадки, заполняемые маслом, да и кто из нас не шел ночью на мерцающий огонек, скудно освещающий пространство вокруг себя... ■

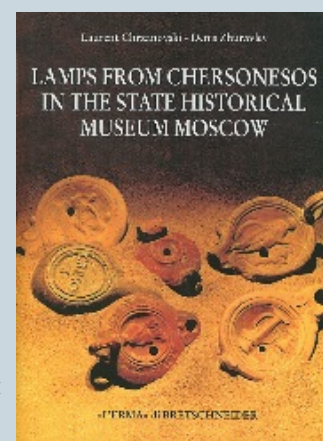
*Редакция выражает благодарность Государственному Историческому музею и лично Василию Мочуговскому за предоставленные фотографии.*



### НАУЧНЫЙ ПРОЕКТ

В течение последних десяти лет осуществляется совместный российско-швейцарский проект, посвященный изучению античного и средневекового освещения. В 1998 г. на английском языке был опубликован первый том Корпуса светильников, хранящихся в Государственном Историческом музее – одном из крупнейших музеев мира. Это том, охватывающий материалы из древнего Херсонеса (на территории современного Севастополя в Крыму). Остальные тома должны быть опубликованы в ближайшее время на русском и английском языках.

В настоящее время создана Международная ассоциация специалистов в области изучения освещения от древности до наших дней (*International Lichnological Association*), со штаб-квартирой в г. Нион (Швейцария), объединяющая ученых из 30 стран мира. Президентом ассоциации избрана Ария Каривьери (Стокгольм), вице-президентом – Денис Журавлев (Москва). В Швейцарии в последние годы прошло несколько выставок, специально посвященных истории света в античности. Удивительно, но на первый взгляд рядовой материал проливает свет не только на историю освещения жилых и общественных зданий, но и дает интереснейшую информацию о ремесленном производстве, торговых путях и верованиях древнего общества.



# увидеть НЕВИДИМОЕ

**П**онимание процессов, происходящих внутри клетки, способно поднять человечество на новую ступень противостояния многим опасным заболеваниям. Один из ключевых этапов на пути к этому – лабораторные исследования на животных. К сожалению, проводится он по принципу «черного ящика». В последние годы крупнейшие мировые фармацевтические компании работают над тем, чтобы его открыть.

Разработка и создание современных лекарственных препаратов во всем мире занимает около семи-восьми лет. Однако новые опасные заболевания, для которых еще не существует специфической терапии, диктуют необходимость максимально сократить этот срок. Но как этого добиться, если при исследовании животных изучается лишь их реакция на препарат, а не сложные молекулярные процессы, происходящие в организме? Происходит ли регресс опухоли в случае онкологических заболеваний? Доставляется ли лекарство

в опухоль или же усваивается в другом месте? На эти и ряд других вопросов стараются дать ответ исследователи всего мира, в том числе и российские ученые.



## О федеральной целевой научно-технической программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы».

**И**з интервью генерального директора государственного учреждения “Государственная дирекция целевой научно-технической программы” Андрея Петрова экспертному каналу Орес.ru

«Фактически раньше было равномерное распределение тех средств, которые имелись, на финансирование науки по существующим вакансиям и должностям. Поэтому эффективность была низка – ни у кого из работающих не было стимула что бы то ни было менять, потому что, какой бы ни получался результат, он не влиял на объемы финансирования. И это является одной из причин неэффективного использования средств на науку. То есть вопрос не в объеме этих средств, а в том, что те люди, которые используют эти средства, не видят связи между объемом средств и результатом... Та ситуация, которая сложилась в науке, в большой мере сложилась как раз из-за того, что вовремя не были сформулированы конкретные приоритеты, конкретные индикаторы, цели, а также стимулы и способы поощрения при их достижении. Поэтому возникновение системы конкурсов – это, на мой взгляд, первый шаг в российской системе финансирования науки, когда учитывается в той или иной мере объективная часть в работе... Есть приоритетные для страны направления. Это те направления, которые важны для экономики, и те, которые включают в себя критические технологии для того, чтобы экономика развивалась».



## Задача: проникнуть в клетку

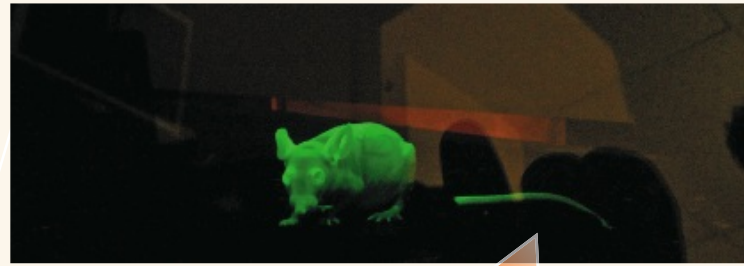
При решении подобных задач обычно довольно успешно используются методы рентгеновской, ультразвуковой и ЯМР-томографии. Однако с их помощью, как правило, можно наблюдать только динамику морфологических изменений в организме и невозможно получить сведения о том, что происходит на молекулярном уровне. На сегодняшний день наиболее перспективными методами, дающими представление о молекулярных процессах, являются оптические.

Особое место среди них занимает флуоресцентный метод, основанный на вторичном излучении молекул после поглощения кванта света. Флуоресцентная регистрация отдельных молекулярных событий на уровне клетки изучена давно, сегодня же идет активная работа по внедрению данного метода в эксперименты на лабораторных животных. Для этого необходимо разработать специальные соединения, проникающие внутрь живого организма и способные подавать сигналы о происходящих в нем молекулярных процессах. Также требуется создание принципиально новых оптических устройств для детектирования подобных сигналов. В России этой проблемой активно занимаются ученые из Института биохимии им. А.Н. Баха (Москва) и Института прикладной физики (Нижний Новгород) Российской академии наук. Они участвуют в совместном проекте в рамках Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники».

## Инструмент: флуоресцирующие белки

Наиболее многообещающим инструментом в молекулярно-клеточной биологии стали цветные флуоресцирующие белки (*fluorescent proteins – FP*). С начала 90-х гг., когда было открыто уникальное свойство генетических маркеров кодировать ярко окрашенный флуоресцирующий белок при помощи одного гена, около трех тысяч научных коллективов в своих исследованиях стали использовать их для уточнения биохимических процессов, происходящих в определенных клетках.

Наиболее перспективная область применения клеточных сенсоров на основе цветных флуоресцирующих белков – экспериментальная онкология. Синтез таких белков опухолевыми



Трансгенная флуоресцирующая мышь. Метод флуоресценции позволяет наблюдать взаимодействие маркированной клетки, флуоресцирующей красным цветом, с другими тканями трансгенной мыши, флуоресцирующими зеленым цветом.

клетками, в которые были введены соответствующие гены, стабилен в течение неограниченного времени. Использование *FP*-маркеров позволяет исследовать развитие первичных опухолевых узлов и метастазов в режиме реального времени, не прибегая к умерщвлению животных. Высокая чувствительность детектирования, обусловленная сильной флуоресценцией цветных белков в живых организмах, и хорошее пространственное разрешение изображений дает возможность наблюдать ранний ответ опухоли на лекарственную терапию, когда не только размер опухоли, но порой и ее наличие невозможно определить обычными методами. При помощи специальных генетических манипуляций в живую клетку вводят генно-инженерные конструкции (плазмиды), позволяющие следить за тем, какие молекулярные процессы в ней происходят. Одновременно с изменением параметров (например, стадии клеточного цикла) в клетке начинают синтезироваться специальные белки, ответственные за включение механизмов апоптоза (запрограммированной гибели клеток). Признаком его начала становится синхронный синтез специальных и флуоресцирующих белков.

Метод флуоресценции применяется для исследования развития опухоли, метастазирования, ангиогенеза (развития новых сосудов) и ответа на лекарственную терапию. Он позволяет выявить многочисленные микрометастазы в легких, печени, почках, плевральной мембране, а также визуализировать единичные флуоресцирующие клетки, которые не могут быть детектированы при помощи стандартных методик. Флуоресценция бестимусной мыши, в поджелудочную железу которой была имплантирована человеческая опухоль, дала возможность в реальном времени визуализировать рост первичной опухоли и образование метастатических узлов в селезенке, печени и других органах. Эти данные были использованы для количественной оценки роста микрометастазов в печени и желудке, так как полученные изображения были идентичны картине, наблюдавшейся при вскрытии брюшной полости живой мыши.

Метод позволяет вести непрерывный визуальный мониторинг роста и распространения опухоли без применения анестезии или обезжививания животных.

Принципиальное отличие и несомненное достоинство флуоресценции – отсутствие необходимости дополнительного введения контрастирующих агентов, ферментов или субстратов. В итоге на достоверность визуализации не влияют особенности распределения этих агентов в организме, а также ограничения, связанные с возможной токсичностью и их взаимодействием с терапевтическими препаратами.

## Трехмерное изображение биоткани

Усилия исследователей из Института биохимии им. А.Н. Баха направлены на получение трехмерного изображения, которое позволило бы количественно отслеживать процессы, происходящие внутри живого организма. Специалисты из лаборатории физической биохимии института убеждены в перспективности такой работы, они говорят о «серьезном заделе в изучении спектральных флуоресцентных свойств цветных белков, а также о тесном взаимодействии между учеными-онкологами, биохимиками, биотехнологами и физиками». В разработке физических методов исследований и приборов для построения оптических изображений биотканей ключевую роль играет нижегородский Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН).

Нижегородские исследователи в течение нескольких десятилетий разрабатывали методы и инструменты, позволяющие различать объекты в мутной (непрозрачной) среде. Они опи-

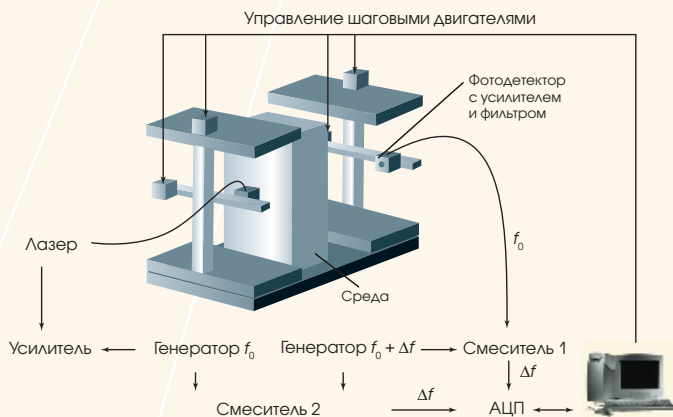
рались на разработки военной науки 60–70-х гг. прошлого столетия, связанные с использованием лазера. Ученые всего мира, работавшие на оборонную промышленность, стремились использовать мощное направленное излучение лазерных источников в определенных диапазонах длин волн для обнаружения (локации) подводных лодок на большой глубине или же самолетов, скрытых облаками. Спустя несколько десятилетий технологии рассекретили, и оказалось, что получение изображения объекта, находящегося внутри организма (например опухоли), определяется фактически теми же физическими принципами и формулами, что и обнаружение подводных лодок. Сегодня это направление известно как оптический биоимиджинг – построение изображения биотканей, которые невозможно наблюдать снаружи. Биоимиджинг дает человеку возможность заглянуть внутрь организма безвредным, безболезненным и нетравматичным способом, увидеть объект в мутной среде.

Научные разработки нижегородского института оказались востребованными медиками – для работ по ранней диагностике онкологических заболеваний. Оптические когерентные томографы удостоены Государственной премии в 1999 году. Приборы позволяют получать изображения внутренней структуры поверхностных биотканей (слизистых оболочек, тканей глаза и кожи) с пространственным разрешением около десяти микрон, что в перспективе поможет в создании неинвазивной оптической биопсии.

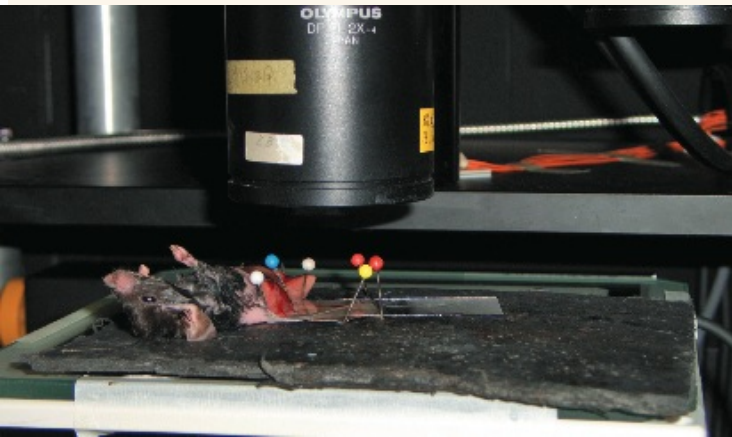
Сегодня сотрудники ИПФ РАН работают над новым прибором – флуоресцентным томографом. Он позволяет заглядывать в живой организм на глубину в несколько сантиметров, где происходит сильное рассеяние зондирующего света длинноволнового видимого и ближнего инфракрасного диапазонов (длины волн 650–1300 нанометров принадлежат так называемому терапевтическому окну прозрачности, в котором поглощение света минимально). Поскольку биоткани непрозрачны, то изображение флуоресцирующего объекта, находящегося даже на глубинах в несколько миллиметров, получается размытым.

Для улучшения пространственного разрешения при локации в мутной среде российскими учеными в 70-е гг. было предложено использовать временную модуляцию амплитуды светового пучка. Спустя много лет к этому методу обратились американские исследователи, давшие ему красивое название «томография на волнах фотонной плотности». Особый интерес

Схема экспериментальной установки флуоресцентного томографа на волнах фотонной плотности, созданного в ИПФ РАН, для получения изображений флуоресцирующих опухолей мелких лабораторных животных.



представляет объединение волн фотонной плотности и флуоресценции специфических молекул, сигнал которых меняется синхронно с зондирующим излучением и образует так называемые флуоресцентные волны фотонной плотности. Их детектирование и дает тот самый сигнал, информирующий о наличии, положении и размерах опухоли внутри биоткани.



Живая обездвиженная наркозом мышь находится в поле специального микроскопа Olympus, позволяющего изучать биологию отдельных клеток внутри живого организма. Наиболее эффективно метод используется для изучения клеток, находящихся в кровотоке.

Современный прибор для оптического биоимиджинга должен реконструировать трехмерные изображения с высокой скоростью (в режиме реального времени). Это необходимое условие для работы с пациентами в клинике или с экспериментальными животными в лаборатории. Компьютерные алгоритмы для быстрой реконструкции можно создать, только детально понимая физические принципы распространения света внутри вещества и его взаимодействия с биологическими структурами. Ученые из ИПФ РАН совместно с физиками из Государственного оптического института им. С.И. Вавилова в Санкт-Петербурге разработали алгоритмы, позволяющие восстанавливать трехмерные изображения биотканей с миллиметровым пространственным разрешением в считанные минуты.

Созданием установок для флуоресцентного биоимиджинга занимаются многие мировые лидеры наукоемкого приборостроения. Однако российские приборостроители опередили разработчиков из *General Electrics*, *Olimpus* и *Kodak* – компаний, приборы которых снимают лишь планарные двумерные изображения. Над созданием томографов, дающих трехмерное изображение, на сегодняшний день кроме ИПФ РАН работают специалисты из *Massachusetts's General Hospital* (Бостон, США) и компании *Siemens*.

## Флуоресценция в борьбе с инфекцией

Флуоресцентные методы также могут быть крайне эффективны при разработке новых способов лечения различных инфекций.

Для многих опасных заболеваний существуют лабораторные штаммы – колонии микроорганизмов, на которых ведутся основные исследования. При помощи специальных генно-инженерных манипуляций в штамм вводится ген цветного флуоресцирующего белка, который затем встраивается в геном бактерии или вируса.

Например, перед исследователями стоит задача: разработать лекарственную терапию для борьбы с сальмонеллезом. В лабораторный штамм сальмонеллы вводится ген цветного флуоресцирующего белка, после чего на лабораторных животных, которым дается зараженная пища, отслеживается перемещение бактерий. При этом можно проследить местонахождение флуоресцирующих сальмонелл через час, через сутки и т.д. Если в пробирке сальмонеллу уничтожить достаточно просто, то в живом организме с ней справиться не так-то легко. Почему? Ответ на вопрос дает флуоресценция: при введении лекарственного препарата можно увидеть, где светящиеся сальмонеллы начинают гибнуть, а где нет. Таким образом, становится понятно, как нужно модифицировать лекарственное средство, чтобы оно проникло в те точки, которые для пробного препарата оказались недоступными.

Описанный метод позволяет наблюдать процесс в живом организме. Ведь успешные испытания терапевтических препаратов на лабораторных животных дают надежду на эффективное лечение человека.

Внешний вид экспериментальной установки

ЕЛЕНА УКУСОВА



# МЕТЕОПРОГНОЗ — БЕЗОПАСНОСТЬ СТРАНЫ

**У**дивить нас сегодня неточным прогнозом погоды довольно-таки сложно. Вспоминается старый анекдот: «Гидрометцентр никогда не ошибается. Он лишь путает время и место».

Причины ошибочных прогнозов кроются в недостаточном финансировании и постоянном сокращении наземной сети аэрологических наблюдений. Установить на всей поверхности Земли единую сеть наблюдений практически невозможно, особенно сложно это сделать в труднодоступных приполярных районах и на просторах океанов. Альтернативным решением проблемы может стать система космического мониторинга. Сканирование Земли космическими аппаратами позволит получать подробную оперативную информацию с разных широт.

Наиболее продуктивный метод – анализ излучения атмосферы и поверхности Земли в разных диапазонах спектра: от ультрафиолетового до микроволнового. Мир перед нами предстает в видимом диапазоне (длина волн от 0,4 до 0,7 мкм), который в спектре излучения занимает совсем незначительную долю.

Основными параметрами при расчетах погоды служат температура и влажность на различных высотах. Атмосферные газы (пары воды, озон, углекислый газ, малые примеси) поглощают излучение или испускают его на строго определенных длинах волн. В инфракрасной (тепловой) области спектра (особенно в области от 2 до 15 мкм) находятся полосы поглощения и излучения основных атмосферных газов. По интенсивности излучения в спектральных линиях можно судить о концентрации газа и температуре, а по спектру – определить их зависимость от высоты (высотные профили). Для хорошего предсказания погоды погрешность определения температуры должна быть не выше 1°C, а влажности – не выше 10%. Кроме того, высотные профили должны быть достаточно подробными, т.е. иметь высокое пространственное разрешение (1–2 км).

Для получения таких профилей у аппаратуры должно быть очень высокое спектральное разрешение (тысячные доли микрона в инфракрасной области) и высокая чувствительность. На Земле такие приборы существуют, а вот в космосе их пока нет.

## Инфракрасный фурье-спектрометр

**Р**азработка космического прибора – процесс длительный и сложный. Аппарат должен отвечать требованиям надежности, способности выдерживать перегрузки, автономности, большого ресурса работы и т.д.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» совместно с Санкт-Петербургским государственным университетом, Институтом космических исследований Российской академии наук и Научно-исследовательским центром «Планета» разрабатывают технологию дистанционного зондирования полей температуры, влажности и атмосферных концентраций основных малых газов, а также занимаются созданием прототипа космического инфракрасного фурье-спектрометра (ИКФС). Прибор позволяет получать исходную информацию для составления прогноза погоды. Его работа основывается на изме-



рениях инфракрасного излучения в диапазоне спектра от 5 до 15 мкм с очень высоким (0,001–0,01 мкм) спектральным разрешением.

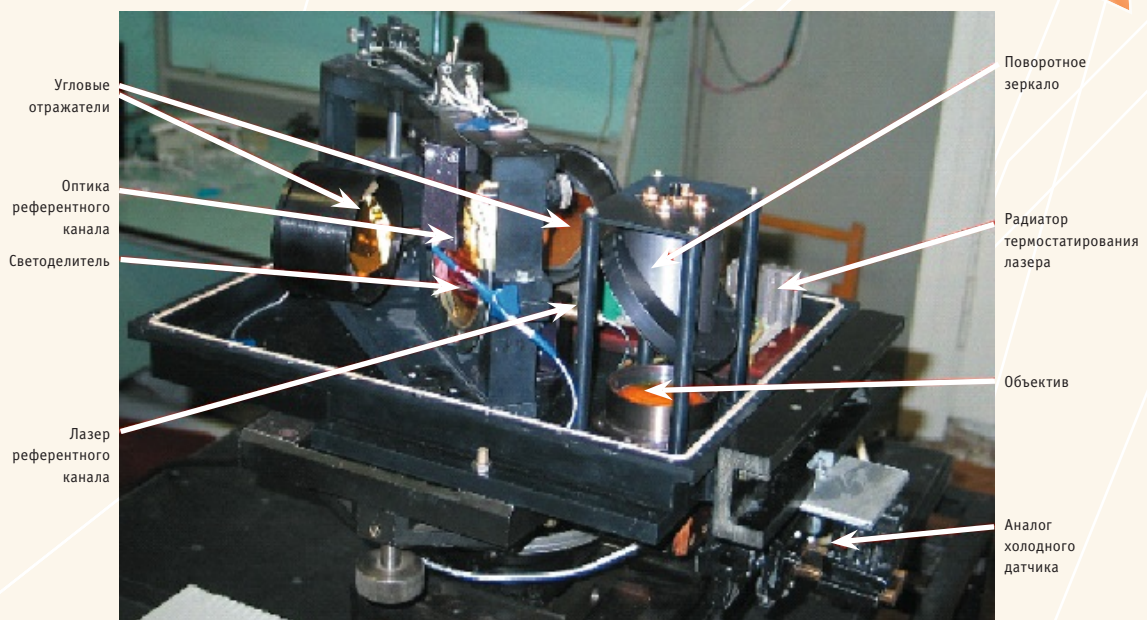
Фурье-спектрометр – очень сложный прибор, состоящий из нескольких блоков. Об этом можно судить по снимку макета одного из его узлов – модуля интерферометра.

Модуль интерферометра измеряет спектральную яркость. Инфракрасный объектив формирует на фотодатчике изображение объекта. Для того чтобы прибор имел требуемое пространственное разрешение по поверхности Земли (примерно 30×30 км с высоты орбиты 800 км), его поле зрения должно быть довольно узким (около 40 миллирадиан). Светоделитель разделяет поступающее излучение на два потока. Сложная механическая система с угловыми отражателями изменяет оптическую разность хода потоков, за счет чего на фотодатчике формируется интерференционная картина (интерферограмма). Чтобы получить спектр излучения, ее нужно подвергнуть сложной математической обработке. В модуле интерферометра существует и опорный излучатель – полупроводниковый лазер со строго определенной длиной волны, который позволяет определять длину волны фиксируемого излучения. Фотодатчик помимо высокой фоточувствительности должен иметь широкую спектральную чувствительность (5–15 мкм) и не выделять тепла. В России такие приборы пока не производятся. Созданием уникального полупроводникового сенсора занимается научно-производственное объединение «Орион».

Модуль сканера (модуль наведения) направляет поле зрения прибора на нужную точку с помощью зеркала, приводимого в движение шаговым двигателем по определенной программе, которую можно изменять, передав с Земли определенный набор команд. В космосе крайне важно контролировать стабильность параметров прибора, для чего предусмотрена его самопроверка или самокалибровка. Периодически поле зрения прибора направляется на «холодный» космос и на эталонный излучатель. «Холодный» космос дает возможность проверять нулевой сигнал, а эталонный излучатель помогает определить, не изменилась ли чувствительность прибора, и при необходимости внести необходимые поправки. На земле роль «холодного» космоса выполняет модель абсолютно черного тела, охлажденная до температуры жидкого азота.

Бортовой, а значит, малогабаритный, потребляющий мало энергии, эталонный излучатель находится в процессе создания. Это будет модель абсолютно черного тела с высокой степенью черноты (не менее 0,995). Такое тело практически не отражает падающий на него свет, который запутывается в его гранях и полостях, поглощается и не выходит наружу. Другая уникальная особенность, позволяющая использовать черное тело в качестве эталонного источника, – излучательные свойства. При известной температуре тепловой поток и его распределение по спектру рассчитываются с очень высокой точностью. Но для того, чтобы сделать черное тело эталонным источником, необходимо измерять и поддерживать

Основные узлы модуля интерферометра



его температуру с высокой точностью (до  $0,1^{\circ}\text{C}$ ). Также важно, чтобы температура была одинаковой на всей поверхности тела и отсутствовали температурные градиенты.



Электронный модуль – сложный многофункциональный бортовой компьютер. Он управляет подвижными частями прибора – измеряет и передает на Землю служебную информацию, например, температуру различных частей установки. Но главное назначение электронного модуля – превращение показаний фотодатчика в спектры излучения атмосферы. В наземном варианте основная нагрузка ложится на персональный компьютер. Космический вариант модуля разрабатывает Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Высокая чувствительность фурье-спектрометра достигается за счет охлаждения приемника излучения до температуры жидкого азота, примерно  $-200^{\circ}\text{C}$ . На орбите роль холодильника выполняет радиатор, рассеивающий излишнее тепло в космос (температура Космоса составляет  $-269^{\circ}\text{C}$ ). На Земле роль рефрижератора будет играть термос с жидким азотом.

Непростая задача – калибровка аппаратуры, т.е. превращение прибора в высокоточный измерительный инструмент. Датчики инфракрасного излучения требуют глубокого охлаждения до  $-200^{\circ}\text{C}$ . Если работать в обычных комнатных условиях, на них сразу же сконденсируется влага и образовавшийся иней изменит показания прибора до неузнаваемости. Искажения вносит и воздух, находящийся между источником и приемником излучения. Поэтому прибор необходимо калибровать в вакуумной камере, в которой воссоздаются условия, близкие к космическим. Такая установка есть в Центре им. М.В. Келдыша, она используется для испытаний небольших космических аппаратов и в будущем будет оснащена технически сложными эталонными источниками и приемниками инфракрасного излучения.

## Новый проект

Идея подобных устройств сегодня популярна во всем мире: и европейцы, и американцы планируют запуск на орбиту фурье-спектрометров, схожих с прибором, разрабатываемым российскими учеными. В Европе прибор называется *IASI*, в Америке – *CrIS*. Российский аналог значительно легче и дешевле, что позволяет использовать его на малых спутниках.

Уже существует технология, позволяющая получать высотные профили температуры и влажности по данным из космоса. Однако их точность и разрешение по высоте недостаточны и уступают наземным аэрологическим наблюдениям. Для получения более точных сведений с помощью космических приборов нового поколения, к которым относится фурье-спектрометр, необходимо преодолеть именно этот порог.

Разработкой технологии дистанционного зондирования атмосферы с использованием инфракрасного фурье-спектрометра ученые занимаются в рамках Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники».

Стенд  
тепловакуумных  
испытаний Центра  
им. М.В. Келдыша



Научный проект, находящийся на стыке разнородных научных задач (космическое приборостроение, физика атмосферы, метеорология), потребовал объединения ведущих научно-технических сил страны. Космическую отрасль представляет Исследовательский центр имени М.В. Келдыша, академические круги – Институт космических исследований, ВУЗы – Санкт-Петербургский государственный университет, Росгидромет – Научно-исследовательский центр «Планета» – головной по космическому мониторингу.

«Над идеей прибора наши специалисты трудятся давно, – говорит ответственный руководитель работы, доктор технических наук Феликс Завелевич. – Однако проблемой стыковки результатов измерений, а также преобразования информации в форму, удобную для потенциальных потребителей, мы занимались недостаточно подробно. Выигранный лот позволит нам восполнить пробел, решить вопрос использования результатов космических измерений в интересах широкого круга потребителей – Росгидромета, Минобороны, МЧС, экологических служб, службы территориального управления. Будет решена актуальная задача – ликвидация разрыва между производителями и потребителями космической информации. Кроме того, это позволит опробовать технологию в наземных условиях и сравнить результаты с независимыми измерениями.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр Келдыша» занимается созданием наиболее трудоемкой и дорогостоящей аппаратной части технологии. Не менее важный аспект работы – получение профилей температуры и концентраций газов на основе измеренных спектров излучения. Эта задача относится к классу математически некорректных задач, для ее решения ученые из Санкт-Петербургского государственного университета (руководитель – профессор Ю. Тимофеев) и Института космических исследований (руководитель – кандидат физ.-мат. наук А. Городецкий) разрабатывают физико-математические модели и программное обеспечение для превращения полученных спектров в профили температуры, влажности и т.д. Группа из Научно-исследовательского центра «Планета» (руководитель – профессор А. Успенский) разрабатывает методы и программно-математическое обеспечение быстрого расчета излучения.

На конечной стадии работы с одного из метеорологических полигонов (скорее всего в г. Долгопрудном) будут запущены радиозонды, которые проведут измерения

температуры и влажности. Одновременно будут измерены спектры нисходящего излучения атмосферы и по ним восстановлены высотные профили температуры, влажности и содержания малых атмосферных газов. Сопоставление результатов позволит оценить эффективность и точность новой технологии.

## Безопасность

Сегодня значительная часть метеоинформации поступает в Россию по международным каналам, что ставит нашу страну в определенную зависимость от международных организаций. Получение Россией собственной глобальной метеоинформации позволит не только внести достойный вклад в международное сотрудничество, но и обеспечить определенную независимость страны от внешней конъюнктуры.



Дополнение наблюдений наземной сети аэрологических станций спутниковыми зондированиями весьма актуально ввиду отсутствия последних над акваториями океанов (2/3 земной поверхности) и в труднодоступных районах, а также практически не имеет альтернативы с точки зрения экономической эффективности. Только запуски радиозондов без учета их обслуживания ежедневно обходятся бюджету РФ в 500 тыс. рублей.

Новая технология имеет еще одно очень важное применение – экологическое. Фурье-спектрометр, помимо высококачественных измерений метеопараметров атмосферы, позволит контролировать ее экологическое состояние, в том числе вести постоянный мониторинг содержания в ней парниковых газов. Последнее обстоятельство приобрело особую актуальность после подписания Россией Киотского протокола. Впрочем это тема отдельной статьи.

ТАТЬЯНА БАРХАТОВА

## самое главное о современной науке



**Бутовская М. Л.** Власть, пол и репродуктивный успех.

**Бутовская М. Л.** Гомосексуализм и эволюция.

Для тех, кто хочет узнать от профессионалов о последних достижениях науки, но не имеет времени для чтения толстых фолиантов, издательство «Век-2» (г. Фрязино Московской области) открыло серию научно-популярных брошюр «Наука сегодня». Их авторы – ведущие специалисты в своих областях исследования и при этом опытные популяризаторы. Первые четыре брошюры посвящены антропологии и астрофизике.

В удобных книжечках «карманного» формата объемом 64 страницы текст разбит на короткие главы с отдельно вынесенными в «окна» важнейшими утверждениями. Небольшой размер и четкая структура облегчают. При этом научный уровень первых четырех брошюр весьма высок и требует от читателя определенной эрудиции (хотя сугубо специальные термины вынесены в краткий толковый словарь в конце книги). Авторы не просто рассказывают о научных новостях, а вводят читателя в проблему «с нуля». Поэтому книжки будут интересны и вполне доступны очень широкой аудитории: школьникам, учителям, журналистам и естествоиспытателям всех направлений.

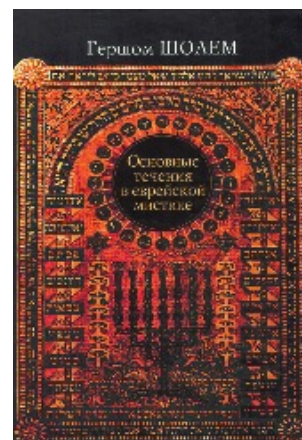
За последние 15 лет подобные серии научно-популярных брошюр не издавались, хотя до 1990 г. такая форма общения ученых с любознательной аудиторией была очень хорошо развита, например, подписные серии «Новое в жизни, науке, технике» издательства «Знание», выходившие по всем основным областям исследований.

Без преувеличения можно сказать, что кругозор научно-технической интеллигенции в значительной мере поддерживали эти недорогие книжечки, написанные лучшими специалистами страны.

Надеемся, что возрожденный в наше время жанр «микролитражных» книг окажется столь же востребованным в среде российской интеллигенции, как это было всегда.

## изучаем каббалу

Книга крупнейшего габраиста XX в. Г. Шолема (1897–1982) открывает перед русскоязычным читателем важнейший и притом малоизвестный пласт мировой культуры. Впервые выходит в свет труд по истории и феноменологии Каббалы. Автор не только анализирует каббалистические книги, но и прослеживает историю развития еврейских мистических учений на протяжении почти двух тысяч лет. Шолем по-новому оценивает своеобразное направление человеческой мысли, которое одни считали не более чем суеверием, другие обожествляли, третьи боялись. Он показывает, что Каббала суть сплав мифологии и философии и вполне вписывается в мировой культурный контекст. Выдвигая на первый план мифологическую составляющую, Шолем подходит к объекту изучения скорее как филолог, однако такой метод позволяет ему остаться на позициях научной объективности.



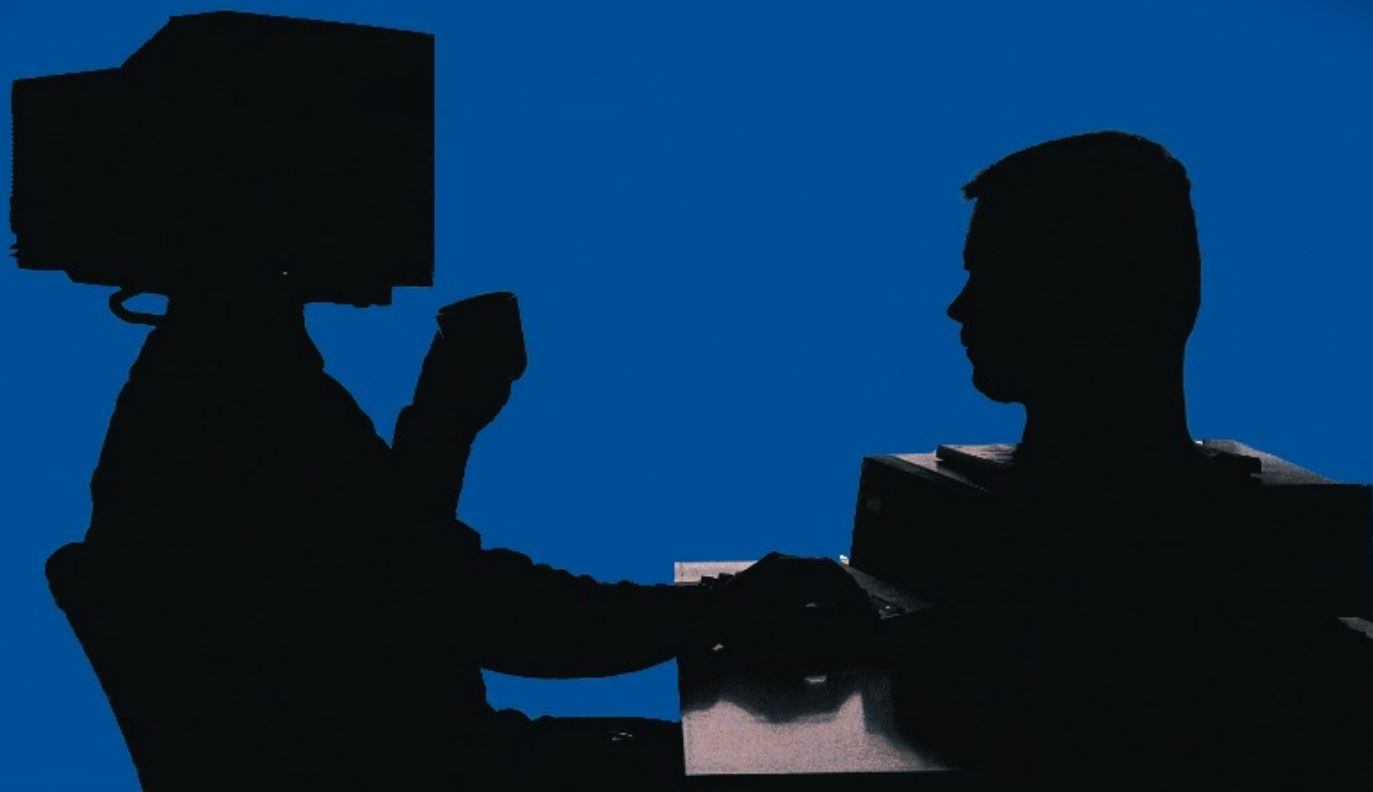
**Шолем Г.** Основные течения в еврейской мистике. – М., 2005.





О перспективах исследований в области искусственного интеллекта и их возможном практическом применении узнали зрители программы «Очевидное – невероятное» из беседы профессора Сергея Петровича Капицы с кандидатом физико-математических наук, главой компании АBBYY Давидом Евгеньевичем Яном.

# РУКОТВОРНЫЙ РАЗУМ



**И**скусственный интеллект вряд ли когда-либо освободит человечество от необходимости мыслить. Вместе с тем, взяв на себя выполнение некоторых скучных функций, компьютер поможет людям избавиться от рутины, позволив уделять больше времени подлинной жизни и творчеству.

### Создатели разума

Проблема создания искусственного интеллекта в своем философско-этическом аспекте увлекала психологов и писателей-фантастов еще задолго до того, как были осуществлены первые практические шаги в этом направлении. Вряд ли «три закона робототехники» станут в ближайшее время темой парламентских дебатов, однако сегодня уже нельзя недооценивать прикладного значения компьютеров и специального программного обеспечения, такого как операционная система *Windows*, программы *IC* или *OCR*-система *FineReader*. К числу самых знаменательных «побед искусственного разума» можно отнести способность распознавать образы, шрифты, рукописные тексты. Следующим шагом становится расшифровка речи, восприятие, анализ

решать многие проблемы, которые раньше казались непреодолимыми по причине слабой технической оснащенности.

Разработки в области искусственного разума в той или иной степени базируются на исследованиях человеческого интеллекта, который всегда занимал и психологов, и философов, и писателей. Поэтому предметом особой гордости компании *ABBYY* считается ее главный «тройственный» принцип, который лежит в основе зрительного восприятия всех живых организмов, способных видеть, – целостность, целенаправленность и адаптивность восприятия. Впервые он был сформулирован Александром Львовичем Шамисом и с тех пор заложен в корень всех систем распознавания, разрабатываемых компанией.

Известна так называемая трехуровневая модель познания окружающего мира. Первый, физический уровень восприятия – тот, на котором существует материальный объект. Физическое отображение материального тела передается людям и животным через ощущения – зрение, осязание и обоняние – в виде отдельных признаков, свойств и качеств предмета. На данном

## Искусственный интеллект начинается с целостного восприятия мира.

и последующая обработка монологов или диалогов любой сложности и на любом языке (см. «Говорящие компьютеры», «В мире науки», №9, 2005 г.). Компьютерный перевод текстов также относится к числу насущных задач, стоящих перед учеными и специалистами в области программирования.

### Машина учится у человека

Можно сказать, что главная задача искусственного интеллекта – заменить человека в некоторых областях его деятельности, требующих принятия оптимального решения. К таким видам «самостоятельного поведения» компьютера следует отнести, в частности, распознавание текстов. Ученые уже более пятидесяти лет работают в данном направлении. Можно даже утверждать, что эта отрасль науки и техники имеет точную дату рождения: летом 1956 г. отцы-основатели кибернетики – Марвин Минский, Джон Маккарти и другие – собрались вместе, чтобы обсудить перспективы своих разработок. Именно тогда впервые были произнесены слова «искусственный интеллект».

В нашей стране еще в конце 40-х гг. прошлого века талантливым ученым Алексеем Андреевичем Ляпуновым была создана лаборатория, которая занималась анализом языков. С тех пор вычислительная техника преобразилась до неузнаваемости, появилась возможность

этапе живые существа еще не располагают полной информацией об интересующем их предмете, они видят лишь некоторые его качества. Затем происходит очень важный процесс классификации – идентифицируется совокупность ощущений, относящих предмет к определенному классу, то есть осуществляется переход от частного к общему. До последнего времени все попытки создания искусственной системы восприятия мира на этом этапе и останавливались.

Компания *ABBYY* впервые попробовала перейти на следующий уровень – к моделированию сознания. На этой ступени живая система (а в данном случае компьютер) выдвигает гипотезу о том, что представляет собой предмет, до сих пор воспринимаемый как совокупность отдельных признаков. Затем система целенаправленно доказывает или опровергает свое предположение. Разработанная система *FineReader* позволяет воспроизвести полный цикл человеческого восприятия – от физического отображения объекта до его концептуального, целостного описания.

### Кадры решают все

Сегодня в *ABBYY* трудятся свыше 500 человек. Офисы компании находятся в пяти странах, в том числе в США, в Силиконовой Долине. Более половины специалистов заняты в отделе исследований – здесь и программисты, ▶



## ДАВИД ЕВГЕНЬЕВИЧ ЯН

Кандидат физико-математических наук, председатель совета директоров компании *ABBYY Software House*. Живет и работает в Москве.

- Родился 3 июня 1968 г.
- В 1990 году окончил факультет общей прикладной физики Московского государственного физико-технического института.
- Лауреат Премии российского правительства в области науки и техники за цикл работ по исследованию, разработке и внедрению в отрасли экономики компьютерных технологий, а именно за создание и внедрение системы распознавания *ABBYY FineReader*.
- В свободное время увлекается экспериментами в области искусства действия и других социо-коммуникативных технологий.

и лингвисты, и научные сотрудники. Причем большой процент инженеров и научных консультантов компании в свое время закончили Физтех, кроме того, здесь работают выпускники ВМиК и Мехмата. В состав компании входит также большая группа лингвистов. Попасты в *ABBYY* не так просто – претендент должен сдать своеобразные вступительные экзамены, чем-то напоминающие те, что существуют в Физтехе. В качестве приемной комиссии выступает служба по работе с персоналом, которая занимается «распознаванием интеллектов». Соискателю предлагается шесть задач, в основном логических и, как правило, не имеющих отношения к будущей специальности. Подобный тест – попытка оценить умственный потенциал претендента. Некоторые из вопросов достаточно известны: про черные и белые шары, про мудрецов в колпаках, другие менее распространены. Никто не ограничивает человека во времени, он может думать хоть два часа, хоть шесть – главное, чтобы он нашел верное решение. В отдел исследований и разработок принимают людей, которые справились с пятью или шестью задачами из шести.

По словам одного известного английского консультанта, успех любого дела, будь то предприятие, инновация, фирма, заключается в формуле: «люди, люди, люди, маркетинг, технология». Давид Ян рассказывает, что, впервые услышав эту формулировку, был в недоумении: неужели технология, научные разработки, годы исследований — и все это на последнем месте? Но затем убедился, что порядок правилен, а еще позже – что верны и весовые категории.

Дело в том, что любая технологическая инновация может реализоваться лишь при наличии специалистов, способных сделать ее успешной. И, как считает Д. Ян, своими достижениями компания *ABBYY* обязана имен-

но людям, которых ему в свое время посчастливилось встретить. Это и Константин Анисимович, и Сергей Андреев, и многие другие.

Второе место в магической формуле занимает маркетинг. Когда на заре 90-х гг. компания начинала свою деятельность, конкурировать приходилось только с соотечественниками. В тот переломный для нашей страны момент западные системы еще не успели выйти на российский рынок, а теперь им захватить его уже не суждено. Скорее наоборот: *FineReader* теснит на мировом рынке своего главного конкурента – продукцию компании *Scansoft*, что в полной мере доказывает силу технологий – третьей составляющей успеха.

### Читать – значит, мыслить

Проблема распознавания компьютером письменных документов относится к области искусственного интеллекта, поскольку требует восприятия не только линейного текста (как комбинации черных символов на белой бумаге), но и смысловых образов. В сообщениях, полученных по факсу, в словах нередко некоторые буквы «склеены» или, наоборот, «разорваны» дефисом. Задача электронного «читателя» состоит в том, чтобы не только распознавать отдельные знаки, но и понимать их значение, идентифицировать сканируемые объекты, чтобы получить в конце концов «читабельный» документ.

Разработанный *ABBYY* язык структурных описаний позволяет машине воспроизводить весь цикл человеческого восприятия от физического отображения объекта до его концептуального, целостного осмысления. Можно сказать, что система *FineReader*, в настоящее время внедряемая в нашей стране для решения проблемы с миллионами налоговых деклараций, наиболее близка к понятию «искусственный интеллект».

## Контекст как составляющая целостности образа

Компания, которой руководит Давид Ян, затронула в своих исследованиях весьма важную проблему: для правильного восприятия текстов машина должна обладать чем-то большим, нежели просто набором всевозможных структурных элементов, составляющих печатные или рукописные буквы. По мнению Д. Яна, исследователи лишь коснулись так называемого третьего уровня отображения, или уровня сознания, но пока не преодолели его, т.е. не научили систему принимать решение относительно того, какие части объекта выделять в качестве структурных элементов, – это пока остается прерогативой человека.

Основываясь на принципе целостности текста, *ABBYU* считает контекстуальность важной составляющей, а потому закладывает ее в свои системы. Контекст и гипертекст лежат в основе конструирования разумного перевода. Однако компания не занимается непосредственно технологиями машинного перевода, ставя перед собой более широкую и общую задачу – семантический анализ естественных языковых мотивов. Можно сказать, что это попытка классифицировать понятия окружающего нас мира для создания так называемого семантического универсума – своеобразной структурной модели знаний о мире, отображающей язык как носитель информации, а также наполненной и другими, внеязыковыми сведениями.

## Puzzle для компьютера

Каков принцип работы системы *FineReader*? Она видит изображение отдельного знака, затем самостоятельно выдвигает гипотезы о том, что это такое, используя при этом, в частности, контекст и другие признаки изображения. Сделав предположение относительно того, что за объект перед ней, система, основываясь на своем структурном, целостном представлении о символе данного типа, пытается доказать или опровергнуть собственные гипотезы. Целенаправленная проверка своих гипотез происходит именно на третьем уровне восприятия, о котором говорилось выше.

Почему же нельзя сделать наоборот, т.е. попытаться сначала выделить объекты, а потом их распознать? Дело в том, что практически невозможно собрать из фрагментов сложную целостную картину. Проводился эксперимент, в ходе которого изображение исследуется по частям через отверстие в листе бумаги. Попытки могут длиться бесконечно долго, пока наблюдатель не получит подсказку в виде контекста или гипотезы, сужающей рамки поиска. Даже идеально сконструированная система не сможет распознать изображение без контекста, то есть без целостного восприятия. Возможно, в этом заключается проблема современной науки, которая чрезмерно углубляется в изучение деталей, игнорируя целое.

А между тем общая картина мира гораздо интереснее и людям, и обществу, и потребителю. ■

*Материал подготовил Дмитрий Константинов*

Фирма *ABBYU* (первоначально она называлась *Bit Software*) была создана в 1989 г., когда Давид Ян учился на 4-м курсе Московского государственного физико-технического института. Первым направлением деятельности новой компании стала



разработка системы электронных словарей *Lingvo*. По свидетельству Яна, тогда не было и речи о том, чтобы бросить науку, – Давид с 3-го класса мечтал стать физиком, как и его родители. Но в какой-то момент он понял, что настала пора окончательно решить, чем заниматься в жизни, и посвятить работе все свое время и силы.

Основной курс математики и теоретической физики, который лежит в основе подготовки студента Физтеха, стал отличной стартовой площадкой для работы молодой компании. Но, по мнению Давида Евгеньевича, Физтех уникален еще и тем, что учит главному – решать абсолютно любые задачи, даже те, которые кажутся невыполнимыми. Команда энтузиастов *ABBYU* была убеждена в том, что ей все по плечу, а потому не боялась браться за самые фантастические и сложные проекты.

После создания электронных словарей изобретатели взялись за разработку системы оптического распознавания текстов. Программа, которая позволяет сканеру вводить тексты в компьютер без помощи машинистки, способна решить проблему обработки миллиардов документов во всех странах мира. Перепись населения, налоговые декларации, всевозможные формуляры в пенсионных фондах, банковские инвойсы, многочисленная документация в любом офисе и т.д. – механизм, упрощающий и ускоряющий процесс их создания и обработки, который стал весомым вкладом в дело победы над канцелярской рутинной.

Разработки в области искусственного интеллекта не призваны заменить креативную деятельность, наоборот, они позволяют сделать ее более свободной и полной, избавив от монотонного труда. Помощь компьютера дает человеку возможность максимально «разгрузить» свою память, освободить ее от мелочей для вольного полета мысли и творчества. Кстати, на экзамене, выявляющем количество усвоенных знаний, студентам Физтеха разрешается пользоваться записями, справочниками и учебниками, чтобы они не отвлекались на поиск и сосредоточение в памяти необходимой информации, а сосредоточились на правильном решении задачи. Тем более что без определенных знаний, способностей и логического мышления невозможно найти верный подход, даже если учебник под рукой.

Сергей Титов

# сеть... сеть? сеть!

*Grid – глобальная инфраструктура для производства информации? Грядет wwg – World Wide Grid.*

В конце прошлого века возникло принципиально новое понимание возможностей компьютеров и компьютерных сетей – концепция грид (*Grid*), которая предполагает глобальную интеграцию информационных и вычислительных ресурсов. По сути, это выполнение сложных компьютерных задач, например вычислений, «через Интернет». Для этого сегодня создаются новые стандарты для надежного, совместимого, дешевого и всепроникающего доступа к отдельным компьютерам, кластерам, суперкомпьютерным центрам, хранилищам информации, сетям и научному инструментарию (см. «Глобальная сеть: вычисления без границ», «В мире науки», №7, 2003 г.).

Грид, как система распределенных вычислений, особенно эффективна для комплексных задач, которые разбиваются на множество кусочков, решаемых автономно друг от друга. Действительно, на своем ПК вы можете решать задачи лишь последовательно, затрачивая при этом определенное время. Хорошо известно, однако, что современные компьютеры используются в среднем весьма неинтенсивно – часто лишь на 10% или даже меньше. Поэтому если владельцы компьютеров договорятся между собой о взаимном их использовании, то задачи можно будет пе-

редать параллельно на многие свободные ресурсы и получать ответы гораздо быстрее. Конечно, это идеалистическая картина. На пути к такому «светлому будущему» стоит множество технологических и социальных проблем. Особенно если стремиться к внедрению этой компьютерной инновации в повседневную жизнь. Но уже есть области человеческой деятельности, где концепция грид оказалась в высокой степени востребованной: применение компьютеров в научных исследованиях, прежде всего связанных с физикой высоких энергий, исследованиях элементарных частиц и фундаментальных взаимодействиях.

В современных экспериментах в области физики высоких энергий тысячи людей из разных стран мира должны иметь доступ к экспериментальным данным. С другой стороны, необходимо обрабатывать невиданный доселе объем информации, получаемой в экспериментах, чтобы затем анализировать ее и открывать новые элементарные частицы и взаимодействия. К примеру, годовой прирост экспериментальных данных, которые будут поступать начиная с 2007 г. с каждой из четырех экспериментальных установок Большого адронного коллайдера (БАК), сооружаемого в настоящее время в Европейском центре по фи-

зике частиц (*CERN*) в Женеве, составит до 10 Петабайт в год (1 Петабайт = 1024 Терабайта = 1024×1024 Гигабайта). Физикам с 1998 г. стало ясно, что единственной разумной, отвечающей поставленным задачам, концепцией построения вычислительной инфраструктуры для этих экспериментов является концепция грид.

Компьютерная система БАК – великолепный испытательный полигон для грид-технологий. Необходимость сотрудничества многих лабораторий и объединения разнообразных ресурсов – это именно то, что более всего соответствует концепции грид. Нечто похожее произошло на рубеже 80-х и 90-х гг. прошлого столетия. Тогда в *CERN* создавался новый ускоритель электронов и позитронов – *LEP*. И физикам стало ясно, что изучение новых эксперимен-

тальных данных с этого ускорителя потребует постоянного обмена результатами анализа и другими данными между десятками исследовательских групп, раскиданных по всему миру. Необходимо было создать эффективную технологию глобального обмена текстовой информацией. Для решения этой задачи разработчиками технологии в *CERN* была выбрана сеть передачи данных Интернет, создан протокол передачи текстовой информации *http* и универсальный язык записи этой информации *html*. В результате в *CERN* была создана Всемирная паутина *World Wide Web (www)*, без которой сейчас невозможно представить себе современный мир.

Каким же образом выглядит сейчас работа пользователя в среде грид? Сначала он видит специальный интерфейс – ворота в грид, затем он формулирует задачу и отправляет

ее на рассмотрение ресурс-брокеру – специальному компьютеру, находящемуся на постоянном дежурстве. Основная функция ресурс-брокера состоит в том, чтобы, оценив параметры задания, на основе информации о свободных ресурсах оптимально выбрать конкретные ресурсы (например, вычислительные кластеры) для выполнения задачи. После выполнения работы результаты вычислений возвращаются к пользователю. Конечно, сейчас это все происходит бесплатно, на основе свободных взаимных договоренностей владельцев компьютерных ресурсов. Обычно они являются членами одной научной группы, пусть и очень большой, как в случае экспериментов на БАК. В будущем будут использоваться системы учета предоставляемых ресурсов и потребляемых компьютерных услуг – что-то вроде биллинга мобильной ▶



связи, и использование грид-систем скорее всего будет платным.

Применение грид-технологий не ограничено проектами, связанными с физикой. Они используются и в других областях знаний, например в медицине: успешно применяются в европейском проекте *MammoGrid* для разработки новых методов борьбы с распространенным заболеванием раком молочной железы у женщин. В этом проекте при помощи грид-технологии обеспечивается эффективный доступ исследователей к огромному объему данных ежегодных обследований миллионов женщин Европы.

Одним из крупнейших в мире проектов в этой области является проект *Enabling Grids for E-science (EGEE)* – европейский проект создания глобальной грид-инфраструктуры для компьютерной поддержки исследований в самых разных областях науки. В результате его осуществления в 2004–2005 гг. ученые, работающие в академических

институтах и в промышленности, получают доступ к значительным ресурсам вычислительной техники вне зависимости от того, где они находятся. Читатель может посмотреть на эту уникальную глобальную инфраструктуру, посетив сайт *CERN*.

Российские научные организации активно участвуют в проекте *EGEE*. С этой целью в 2003 г. был подписан меморандум о создании консорциума РДИГ (Российский грид для интенсивных операций с данными – *Russian Data Intensive GRID, RDIG*) руководителями восьми крупных научных институтов: Института физики высоких энергий (Протвино), Института математических проблем биологии РАН (Пушино), Института теоретической и экспериментальной физики (Москва), Объединенного института ядерных исследований (Дубна), Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (Москва), НИИ ядерной физики МГУ (Москва), Петербургского института ядерной физики РАН (Гатчина) и РНЦ

«Курчатовский институт» (Москва). Консорциум РДИГ – один из двенадцати региональных объединений в проекте *EGEE*.

В настоящее время в инфраструктуре *EGEE* работает более 100 сайтов. Шесть из них поочередно берут на себя оперативное руководство глобальной инфраструктурой распределенных компьютерных ресурсов. Как отмечают координатор консорциума РДИГ Вячеслав Ильин и руководитель группы поддержки грид-сервисов в России Александр Крюков, российский сайт НИИЯФ МГУ с 25 апреля 2005 г. на неделю впервые взял на себя эти обязанности. Сейчас он успешно выполняет их на регулярной основе наряду с другими четырьмя подобными европейскими сайтами.

Однако при всех этих успехах лишне будет отметить, что Россия – единственная из развитых в научно-техническом отношении стран в мире, не имеющая на данный момент национальной программы по грид. ■

[www.sciam.ru](http://www.sciam.ru)

**СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ**  
**ДЛЯ БИБЛИОТЕК!**

Вы можете получить подборку номеров журнала "В мире науки" за 2003 и 2004 гг. **БЕСПЛАТНО!**  
Предложение ограничено.

Дополнительную информацию Вы можете получить по телефонам:  
**105-03-72 и 727-35-30**

ежемесячный научно-информационный журнал  
**В мире науки**  
scientific american



## отчего болит голова?

**Дон Маркус (Dawn A. Marcus), профессор отделения анестезиологии Медицинской школы Питтсбургского университета:**

– Головные боли воспринимаются человеком исходящими непосредственно от мозга, хотя на самом деле они возникают в результате раздражения близлежащих структур: кожи, суставов, мышц, нервов или кровеносных сосудов. Мозговая ткань, заключенная в защитную оболочку черепа, не обладает болевой чувствительностью.

Клиницисты делят все головные боли на вторичные и первичные. Вторичные головные боли чаще всего сопутствуют основному заболеванию и могут быть следствием



защемления нерва или инфекции в пазухах лицевой части черепа (синусита или гайморита).

Однако большинство головных болей относится к первич-

ным. Исследователи считают, что к этой категории относятся боли, причина которых – повышенное внутричерепное давление или мигрень. Обычно они начинаются, когда активизируются болевые центры мозга, стимулирующие выработку нейротрансмиттеров, таких как серотонин и норэпинефрин. Эти вещества приводят к расширению менингеальных кровеносных сосудов, снабжающих мозг, и, соответственно, к увеличению тока крови. Сосуды, расширяясь, создают давление на нервные окончания, передающие, в свою очередь, сигналы тройничному нерву, по ветвям которого болевые импульсы поступают к различным областям головы и лица.

Однозначного же ответа, в чем причина головных болей, нет. Пусковыми механизмами могут быть, например, гормональные изменения в течение менструального цикла, увеличение физических и эмоциональных нагрузок, стресс или бессонница.

## ХОРОШО ЛИ НАСТРОЕНА ВСЕЛЕННАЯ?

Вскоре после Большого Взрыва в силу законов квантовой механики в плотности энергии Вселенной возникли хаотические флуктуации. Они напоминали звуковые волны, и этот «звук», гудевший в космосе 14 млрд. лет назад, отпечатался в реликтовом излучении.

## НАНОТЕЛА

На протяжении многих лет ученые пытались создать искусственные антитела, которые могли бы корректировать ошибки иммунной системы.

## В МИРЕ СИМВОЛОВ

Люди отличаются от других живых существ, в частности, и тем, что способны создавать и понимать самые разные символы. Их использование позволяет нам передавать информацию от поколения к поколению и постигать многое даже в отсутствие непосредственного опыта.

## РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОТНЫХ

Еще несколько лет назад никто не сомневался, что билатеральные животные впервые появились примерно 555 млн. лет назад. Но результаты последних исследований позволяют говорить о том, что они появились, по крайней мере, на 50 млн. лет раньше кембрийского взрыва.

## ПУЛЬС СМЕРТИ

Аневризмы аорты называют «бесшумными охотниками», т.к. их развитие не сопровождается явными симптомами. Чаще всего острая режущая боль появляется только тогда, когда опасное разрастание уже расслоилось или разорвалось.



# журнал «В МИРЕ НАУКИ»



## ГДЕ КУПИТЬ ТЕКУЩИЕ НОМЕРА:

- в передвижных киосках «Метрополитеновец» около станций метро;
- в киоске «Деловые люди», 1-я Тверская-Ямская ул., 1;
- в киосках МГУ, МГИМО, РУДН, МИРЭА;
- в киосках г. Зеленограда;

- в Санкт-Петербурге, ЗАО «НЕВА-ПРЕСС», тел. (812) 324-67-40; ООО «Заневская пресса» тел. (812) 275-07-21
- в Новосибирске, АРПИ «Сибирь», тел. (3832) 20-36-26;
- в Нижнем Новгороде, «Роспечать»,

- тел. (8312) 35-15-92, 35-72-42, 19-76-05; «Шанс-пресс», тел. (8312) 31-31-14, 31-31-16;
- «Региональная пресса», тел. (8312) 35-88-16
- в Киеве, KSS, тел. (044) 464-02-20.

Все номера журналов можно купить в редакции журнала по адресу: ул. Радио, дом 22, а также в ООО «Едиториал УРСС» по адресу: проспект 60-летия Октября, д. 9, оф. 203, тел./факс (095) 135-42-16.

## Как оформить подписку/заказ на журнал «В мире науки»:

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, и ваш полный почтовый адрес.
  2. Оплатить заказ/подписку в отделении Сбербанка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже).
  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». Бланк подписки можно отправить по электронной почте [distr@sciam.ru](mailto:distr@sciam.ru), или по факсу: 105-03-72.
- Подписку можно оформить со следующего номера.

<p><b>Бланк подписки</b></p> <p><input type="checkbox"/> Я хочу подписаться на 6 номеров журнала «В мире науки» и плачу _____ руб. ____ коп.</p> <p><input type="checkbox"/> Я хочу подписаться на 12 номеров журнала «В мире науки» и плачу _____ руб. ____ коп.</p> <p><b>Цена за один номер журнала по подписке в 2005 г. 65 руб. 00 коп.</b></p> <p><b>В 2006 году стоимость подписки на полгода составит 540 руб. 00 коп., на год – 1080 руб. 00 коп.</b></p> <p><b>Цена за один номер журнала по подписке в 2006 г. 90 руб. 00 коп.</b></p>	<p><b>Контактные данные</b></p> <p>Ф.И.О. _____</p> <p>Индекс _____</p> <p>Область _____</p> <p>Город _____</p> <p>Улица _____</p> <p>Дом _____ Корп. _____ Кв. _____</p> <p>Телефон _____</p> <p>Дата рождения _____ / _____ / 20____</p>	<p><b>Бланк заказа предыдущих номеров</b></p> <p><input type="checkbox"/> Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):</p> <p><input type="checkbox"/> №1/____ <input type="checkbox"/> №7/____</p> <p><input type="checkbox"/> №2/____ <input type="checkbox"/> №8/____</p> <p><input type="checkbox"/> №3/____ <input type="checkbox"/> №9/____</p> <p><input type="checkbox"/> №4/____ <input type="checkbox"/> №10/____</p> <p><input type="checkbox"/> №5/____ <input type="checkbox"/> №11/____</p> <p><input type="checkbox"/> №6/____ <input type="checkbox"/> №12/____</p> <p style="text-align: right;">Всего _____ экземпляров.</p> <p><input type="checkbox"/> Я заказываю полный комплект «В мире науки» за 20____ г.</p> <p><b>Цена за один номер журнала 65 руб. 00 коп.</b></p>
---	--	---

	<p>ЗАО «В мире науки» Расчетный счет 40702810100120000141 в ОАО «Внешторгбанк» г. Москва БИК 044525187 Корреспондентский счет 30101810700000000187 ИНН 7709536556; КПП 770901001</p>						
	_____ Фамилия, И.О., адрес плательщика						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Вид платежа</th> <th style="width: 20%;">Дата</th> <th style="width: 40%;">Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Плательщик _____</p>	Вид платежа	Дата	Сумма	Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Вид платежа	Дата	Сумма					
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров							
	_____ Фамилия, И.О., адрес плательщика						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Вид платежа</th> <th style="width: 20%;">Дата</th> <th style="width: 40%;">Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Плательщик _____</p>	Вид платежа	Дата	Сумма	Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Вид платежа	Дата	Сумма					
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров							

## ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ МОЖНО:

- по каталогам «Пресса России», подписной индекс 45724; «Роспечать», подписной индекс 81736; изданий органов НТИ, подписной индекс 69970;
- подписка на Украине по каталогу подписных изданий агентства KSS, подписной индекс 10729
- через редакцию (только по России), перечислив деньги через Сбербанк или по почте, отправив копию квитанции (с указанием Ф.И.О., точного адреса и индекса подписчика) в редакцию по почте, по факсу: (095) 105-03-72; 727-35-30 или по e-mail: [distr@sciam.ru](mailto:distr@sciam.ru).
- Подписаться можно со следующего номера, в квитанции обязательно указать номер, с которого пойдет подписка. Бланк подписки можно взять в любом номере журнала, получить в редакции или на сайте [www.sciam.ru](http://www.sciam.ru).

