

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC  
AMERICAN

# В мире науки

www.sciam.ru

№1 2011

МЕДИЦИНА

**ОТЛОЖЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ**

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

**БОРЬБА С ПАРАЗИТОМ-УБИЙЦЕЙ**

НЕЙРОНАУКА

**ЛУЧ СВЕТА В НАШЕМ МОЗГЕ**

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ОПРОС

**НА НАУКУ УПОВАЕМ**

ИНЖЕНЕРИЯ

**КАК ПОСТРОИТЬ СУПЕРСЕТЬ**

## ПОТАЕННЫЕ МИРЫ ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ

**Динамика невидимого космоса**



Журнал выходит при поддержке  
МГУ имени М.В. Ломоносова

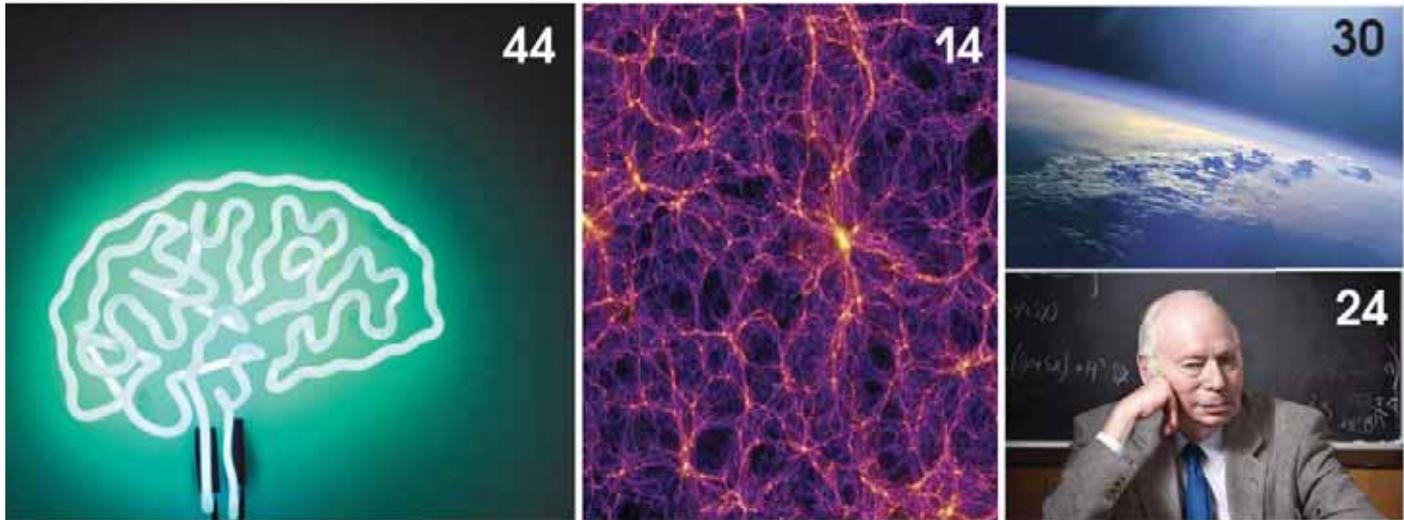
ISSN 0208-0621

11001



9 770208 062001

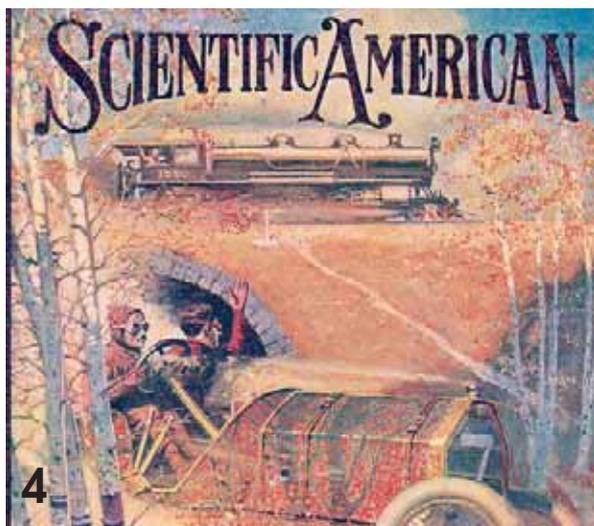
>



# СОДЕРЖАНИЕ

## ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 14 | <p><b>Космология</b><br/> <b>ТЕМНЫЕ МИРЫ</b><br/> <i>Марк Тродден и Джонатан Фэн</i><br/>         Состоящая из темной материи «теневая Вселенная» может обладать собственной богатой жизнью</p>                           | 42 | <p><b>Технология</b><br/> <b>ОТ ШЕЛКОВОГО КОКОНА К ЧУДЕСАМ МЕДИЦИНЫ</b><br/> <i>Дэвид Каппан и Фьоренцо Оменетто</i><br/>         Из нитей, сплетенных гусеницами, специалисты создают искусственные артерии и микросхемы</p> |
| 24 | <p><b>Физика</b><br/> <b>МИСТЕР ОБЪЕДИНИТЕЛЬ</b><br/> <i>Интервью: Амир Аксель</i><br/>         Многие годы космос и атом находятся в конфликте. Если кто-то из физиков и может примирить их, так это Стивен Вайнберг</p> | 44 | <p><b>Нейронаука</b><br/> <b>УПРАВЛЕНИЕ МОЗГОМ С ПОМОЩЬЮ СВЕТА</b><br/> <i>Карл Диссерот</i><br/>         Оптогенетика раскрывает новые возможности исследования функции мозга</p>  |
| 30 | <p><b>Окружающая среда</b><br/> <b>КЛИМАТИЧЕСКОЕ ИНАКОМЫСЛИЕ</b><br/> <i>Майкл Лемоник</i><br/>         Почему мы не можем вежливо поговорить о климате?</p>  | 54 | <p><b>Медицина</b><br/> <b>ОТЛОЖЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ</b><br/> <i>Стивен Холл</i><br/>         Проект «Геном человека» пока не привел к революции в медицине – вопреки ожиданиям мирового научного сообщества</p>                   |
| 38 | <p><b>Эксклюзивный опрос</b><br/> <b>УПОВАЕМ НА НАУКУ</b><br/> <i>Судя по веб-опросу наших читателей, люди</i></p>  |    |   |



62

**Здравоохранение**  
**КАК ИЗБАВИТЬСЯ ОТ ПАРАЗИТА?**

*Мэри Кармайкл*

Принципиально новая противомаларийная вакцина, планы иммунизации комаров и другие идеи вселяют надежду на избавление человечества от паразита-убийцы

72

**Экология**  
**ФОСФОРНЫЕ ОЗЕРА**

*Марк Фишетти*

Открытые горнорудные разработки во Флориде обеспечивают США не только удобрениями, но и химическими отходами

74

**ПЛАСТМАССОВЫЙ ПРИБОЙ**

*Дженнифер Аккерман*

Мелкие фрагменты игрушек, бутылок и упаковок представляют угрозу для жизни в океане

76

**Информационные технологии**  
**ХАКЕР В ВАШЕМ «ЖЕЛЕЗЕ»**

*Джон Вильясенор*

Мало нам бед от программных вирусов – угрозу таят и намеренно поврежденные уже в процессе производства микросхемы

84

**Инженерия**  
**КАК ПОСТРОИТЬ СУПЕРСЕТЬ**

*Мэтью Уолд*

Соединенным Штатам необходима новая система передачи электроэнергии. Преодолеть трудности позволят четыре шага

**РАЗДЕЛЫ:**

3

**ОТ РЕДАКЦИИ**

4

**50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД**

6

**СОБЫТИЯ, ФАКТЫ,**

**КОММЕНТАРИИ**

92

**КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ**

94

**ЗНАНИЕ–СИЛА**

<b>Учредитель и издатель:</b>	<b>ЗАО «В мире науки»</b>
<b>Главный редактор:</b>	С.П. Калица
<b>Заместители главного редактора:</b>	А.Ю. Мостинская О.И. Стрельцова
<b>Зав. отделом естественных наук:</b>	В.Д. Ардаматская
<b>Зав. отделом российских исследований:</b>	Ю.Г. Юшквичюте
<b>Выпускающий редактор:</b>	М.А. Янушкевич
<b>Корреспондент:</b>	Д.А. Мисюров
<b>Над номером работали:</b>	Н.Н. Алипов, А.Н. Божко, А.В. Ващенко, Ф.С. Калица, Т.А. Митина, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина, И.Е. Сацевич, А.А. Сорокин, Д.С. Хованский, П.Ю. Худoley, Н.Н. Шафрановская
<b>Арт-директор:</b>	С.Б. Кедис
<b>Корректора:</b>	Я.Т. Лебедева
<b>Генеральный директор</b> <b>АНО «Телекомпания "Очевидное-Невероятное"»:</b>	С.В. Полова
<b>Директор Управляющей компании:</b>	И.Г. Семенов
<b>Генеральный директор</b> <b>ЗАО «В мире науки»:</b>	М.М. Стеблянок
<b>Главный бухгалтер:</b>	Д.В. Суханосова
<b>Адрес редакции:</b> Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д.1, к. 46, офис 138 Тел./факс: (495) 939-42-66 e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru	

**Журнал «В мире науки» – участник НП «Международное партнерство распространения научных знаний»**

Иллюстрации предоставлены *Scientific American, Inc.*  
В верстке использованы шрифты *Helios* и *BookmanC*

**Отпечатано:** ЗАО «ПК "Экстра М"».  
Заказ №10-12-00261

**© В МИРЕ НАУКИ**

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

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

**Тираж:** 12 500 экземпляров

Цена договорная.

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



**SCIENTIFIC AMERICAN**

ESTABLISHED 1845

**Acting editor in chief:** Mariette DiChristina

**Editors:** Davide Castelvecchi,  
Graham P. Collins, Mark Fichetti, Steve Mirsky,  
Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong

**Chief news editor:** Philip M. Yam

**Senior writer:** Gary Stix

**Contributing editors:** Mark Alpert, Steven Ashley,  
Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway,  
Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie,  
Michael Shermer, Sarah Simpson

**Art director:** Edward Bell

**President:** Steven Inchcoombe

**Vice president, operations and administration:** Frances Newburg

**Vice president, finance and business development:** Michael Florek

**Vice president and publisher:** Bruce Brandfon

© 2007 by Scientific American, Inc.

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

**НАШИ ПАРТНЕРЫ:**



**PETER**



**SERVICE**



**«ТЕЛЕКОМПАНИЯ  
"ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ"»**

# ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ МОМЕНТ



Арно Пензиас (Arno Penzias), Нобелевский лауреат по физике 1978 г. (слева), Джордж Смут (George Smoot), Нобелевский лауреат по физике 2006 г. (справа) и Мариэтт Ди Кристина в Германии

**К**ак правило, в рубрике «От редакции» рассказывается о наиболее интересных материалах текущего номера, но на этот раз мы решили проинформировать вас о наших планах на будущее, в том числе поведать о том, что стремимся сделать для развития науки в целом.

Как читатель журнала *Scientific American* вы в первую очередь следите за последними достижениями мировой науки. Заглядывая в будущее, наш журнал, входящий в состав Nature Publishing Group (NPG), принял участие в американской образовательной программе под названием «Изменить уравнение», направленной на развитие знаний в области науки, технологий, инженерии и математики. Программа включает подготовку специальных научных справочников, курсов для преподавателей и создание модели возврата инвестиций, вложенных в научные разработки. В начале 2011 г. она будет представлена на страницах журнала.

**Наука идет в дом.** Как мать двух дочерей-школьниц, считающих, что наука скучна, я знаю, что отношение к предмету во многом зависит от позиции родителей. Именно поэтому сайт <http://www.ScientificAmerican.com> предлагает детям и их родителям каждый день проводить научные эксперименты, не выходя из дома.

**Наука в городе.** Мы готовы предложить цифровую платформу, включая сайт и приложения, для детей

и родителей, желающих больше узнать о последних исследованиях, и заинтересованы принять в них участие.

**Тысяча дней, тысяча ученых.** Мы планируем привлечь волонтеров из числа ученых, которые придут читать лекции в школы или будут участвовать в других важных мероприятиях.

Совсем иной уровень обмена знаниями предложила традиционная встреча с нобелевскими лауреатами, проходившая в Линдау в Германии, где в непринужденной обстановке именитые специалисты делились своими познаниями с молодыми учеными. Это событие оказывает значительное влияние на развитие мировой науки. Я подготовила репортаж с юбилейного шестидесятого заседания, который доступен на нашем сайте.

И последнее. В этом номере представлены статьи, которые могут быть интересны как для ученых, студентов, так и для обычных читателей. Отмечу две. «Темные миры» Марка Троддена и Джонатана Фэна – материал, позволяющий каждому, не вставая со стула, совершить необыкновенное путешествие в невидимый мир Вселенной. Майкл Лемоник в статье «Климатическое инакомыслие» отвечает на вопрос, почему мы не можем спокойно говорить о климате, и призывает к ответственному отношению к проблеме экологии. ■

**Мариэтт Ди Кристина**  
главный редактор журнала *Scientific American*

## ЯНВАРЬ 1961

**МЕХАНИЗМЫ ИММУНИТЕТА.** «Хотя практические проблемы вакцинации были решены, иммунология остается важным разделом медицины. Иммунолог сегодня заинтересован не столько в том, как повысить эффективность вакцин против дифтерии или полиомиелита, сколько в изучении того, что происходит, когда люди становятся неуязвимыми. Он задается все более сложными вопросами. Например, почему пересадка кожи или другой ткани возможна с одной части тела на другую, но не от одного человека другому, кроме случаев пересадок между идентичными близнецами? Любая современная формулировка иммунологической теории должна поставлять по крайней мере временные ответы на эти и другие сложные вопросы». – Сэр Фрэнк Макфарлейн Бернет (Frank Macfarlane Burnet).  
**Примечание:** Бернет стал лауреатом Нобелевской премии 1960 г. по медицине за работу по иммунологии.

## ЯНВАРЬ 1911

**БАТАРЕЯ ЭДИСОНА.** Запасание электричества нашло бы самое широкое применение как движущая сила автомобилей и транспортных средств, и такое устройство – аккумуляторная батарея Эдисона – было изобретено. Г-н Эдисон понял, что есть две точки зрения: специалиста с его инструментами, правилами эффективной работы батареи, абсолютной уверенностью, что об автомобильной батарее нужно заботиться так же, как о дорогой лошади или хотя бы локомотиве; и водителя, который просто хочет куда-нибудь съездить на автомобиле, а потом вернуться обратно. И «долгоиграющая» аккумуляторная батарея еще раз иллюстрирует высоко практический характер работы Эдисона, при которой он бескомпромиссно придерживался точки зрения автомобилиста.

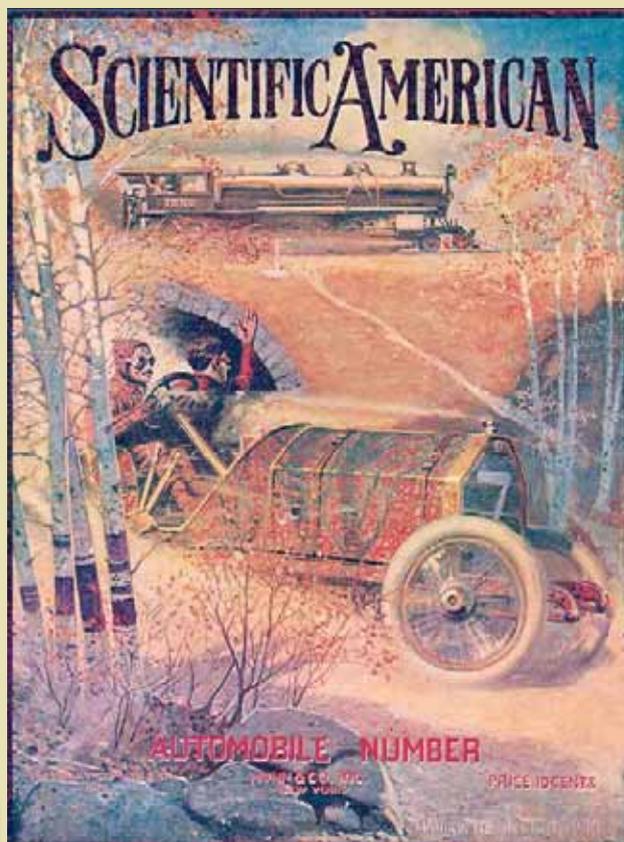
**БЛЕСТЯЩАЯ КЮРИ.** Мы считаем, что в наш прогрессивный век в таком центре просвещения, как Париж, сомнения в том, что столь блестящий ученый, как мадам Кюри, достоин стать членом Французской академии наук, – весьма прискорбный факт. Когда дело доходит до распределения наград, наука должна быть слепа к простым случайностям вроде пола. Совершенно не нужно быть энтузиастом расширения прав и привилегий женщин, чтобы понимать, что эта женщина благодаря своим выдающимся достижениям добилась права быть избранной в члены академии.  
**Примечание:** после многих политических маневров Французская академия наук отказала Кюри в членстве.

## ЯНВАРЬ 1861

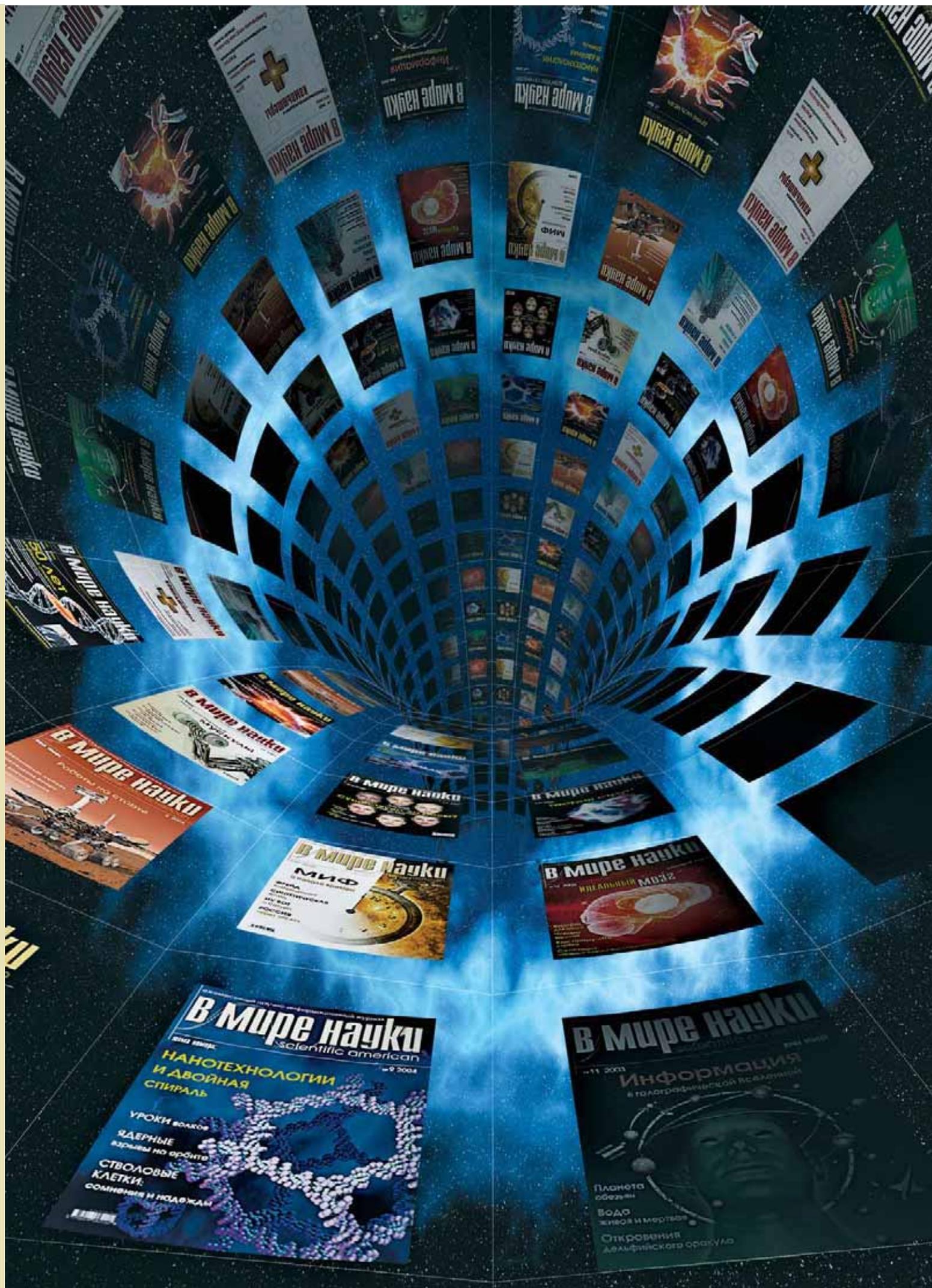
**РИСКИ РАСКОЛА.** Один изобретатель медлит с получением патента, пока наши политические трудности

не улажены. Ведь если южные штаты отделятся от северных и средних штатов, полагает он, его права не будут соблюдены почти в половине штатов, и таким образом патент наполовину обесценится. Однако опасения, бушевавшие сейчас изобретателей по поводу обеспечения и защиты патентов, иллюзорны. Ведь мы в промышленных, машиностроительных северных штатах, которые всегда были покровителями патентовладельцев! Мы не думаем, что возможны раскол Соединенных Штатов и разделение интересов Севера и Юга, но даже если столь прискорбное событие вдруг произойдет, мы не видим причин, по которым право собственности на патент может обесцениться.

**МЫЛО И ЦИВИЛИЗАЦИЯ.** Согласно Юстусу Либиху (Justus von Liebig), количество мыла, потребляемого страной, может служить точной мерой оценки ее богатства и цивилизованности. В самом деле, хотя политические экономисты не обратят внимания на такой критерий, но кроме шуток, это правильно: мы с уверенностью можем объявить, что из двух стран с равным населением более богатой и цивилизованной будет та, в которой потребляют больше мыла. Ведь его использование не связано с чувственным удовлетворением или модой; оно обусловлено чувством прекрасного, требованиями комфорта, благосостояния и чистоплотности. ■



Автомобили: наш ежегодный краткий обзор расцветавшей отрасли промышленности, 1911 г.



**В мире науки**  
scientific american  
НАНОТЕХНОЛОГИИ  
И ДВОЙНАЯ  
СПИРАЛЬ  
УРОКИ ВОЛКОВ  
ЯДЕРНЫЕ  
взрывы на орбите  
СТВОЛОВЫЕ  
КЛЕТКИ:  
СОМНЕНИЯ И ПОДОЖДАНИЕ

**В мире науки**  
Информация  
в географической Вселенной  
Планета  
обезьян  
Вода  
живой и мертвой  
Откровения  
дельфиньего мозга



Электрический автомобиль Tesla S

## ВСЕ НА ВИТРИНЕ

Сегодня покупатели могут сравнить расход топлива электромобиля и бензинового автомобиля

Управление по защите окружающей среды США (EPA) столкнулось с очередной проблемой. Федеральный закон требует, чтобы при продаже новые автомобили снабжались ярлыком, в котором должна быть указана их топливная экономичность, выраженная в милях пробега на галлон топлива (miles per gallon, MPG). Однако уже в 2011 г. галлоны начнут уступать место ваттам, что заставляет EPA изменить форму ценника.

В попытках смягчить переход EPA ввело новую единицу топливной эффективности: мили на галлон для эквивалентного бензинового автомобиля (miles per gallon of gasoline-equivalent, MPGe). По существу это пересчетный коэффициент для пе-

ревода количества расходуемой автомобилем электроэнергии, выражаемого обычно в киловатт-часах (кВт•ч), в энергию другого вида. Чисто электрический автомобиль должен характеризоваться значением MPGe порядка 100, хотя не будет потреблять ни капли бензина.

Однако новый показатель не решает проблемы сравнения яблок с апельсинами. Привычные характеристики расхода топлива покупатели обычно используют для определения экологичности автомобиля и стоимости мили пробега. Например, «углеродный след» электромобиля сильно зависит от характера местных источников электроэнергии (см.: Мойер М. Правда о чистых электромобилях // ВМН. № 8–9, 2010).

В связи с необходимостью учитывать такое множество факторов EPA разработало два образца ярлыков. Один содержит все сведения, которые может пожелать знать покупатель. Для другого принят противоположный подход. В нем главенствует единственный буквенный показатель – от А+ до D, – в котором учтены все эти факторы. К сожалению, при использовании второго показателя 88% всех автомобилей оказываются между классами В и С. «Чтобы покупатель, которому нужен минивэн или универсал среднего класса, мог осознанно выбрать из ряда однотипных автомобилей, он должен знать, за что и почему он будет платить, – говорит старший лектор Школы природных ресур-

сов и окружающей среды Мичиганского университета Джон Де Сикко (John DeCicco). – Буквенные обозначения классов для этого не годятся».

Внимательный взгляд на ярлык выявляет более важный показатель: стоимость эксплуатации. Учтя это, ЕРА вводит еще одну характеристику: расходы на эксплуатацию за пять лет. «Это ожидаемый срок эксплуатации автомобиля. Здесь учте-

ны все нюансы, на которых обычно не заостряют внимание, причем они выделены таким образом, чтобы не сбивать с толку», – говорит Ричард Ларрик (Richard Larrick) из Школы бизнеса Фукуа Университета Дьюка. Ларрик и его коллеги показали, что на выбор покупателей влияет простое увеличение срока. Например, студенты, которым предлагали на выбор два плана проката ви-

деофильмов, чаще выбирали более долгосрочный – годовой, а не месячный. Подобным образом ярлыки ЕРА должны подталкивать к выбору экономичных в эксплуатации машин, например электромобилей.

Прощайте, галлоны, и скатертью вам дорога! ■

Майкл Мойер

## ЛАЗЕРНЫЕ ПЯТНАШКИ

### Как защитить боевые вертолеты от ракетных атак

В местностях со сложным рельефом, например в Афганистане, для доставки грузов, боевой техники и живой силы незаменимы вертолеты. К сожалению, около 3 тыс. таких машин Вооруженных сил США летают сравнительно медленно и на малой высоте, что делает их уязвимыми для ракет переносных зенитных комплексов противника.

Лучшие современные противоракетные системы, создававшиеся первоначально для защиты самолетов, не выдерживают вибраций, характерных для вертолетов. Однако специалист по лазерам и волоконной оптике Мохаммед Ислам (Mohammed N. Islam) из Мичиганского университета в Анн-Арборе и его коллеги разработали способ, позволяющий отражать ракетные атаки с помощью устройств, включающих в себя серийные лазеры и достаточно прочных для применения на вертолетах. Лазеры «ослепляют» датчики головок теплового наведения ракет, направляя на них инфракрасные лучи, что дает винтокрылым машинам достаточно времени, чтобы уйти от атаки.

Новая технология, которую планируется передать в серийное производство, заимствована у поставщиков услуг связи, использующих

многочастотные лазеры для создания трактов передачи сигналов в оптоволоконных кабелях. Эти «суперконтинуальные лазеры среднего ИК-диапазона» характеризуются гораздо более широким диапазоном длин волн, чем обычные, перекрывающим от 800 нм (видимый свет) до 4,5 мкм (средняя ИК-область). «Использовать лазеры, которые можно в буквальном смысле купить в магазине, весьма разумно», – считает специалист по лазерам Энтони Джонсон (Anthony M. Johnson) из Университета штата Мэриленд в графстве Балтимор, не принимавший участия в разработке.

Возможно, вертолеты больше всего нуждаются в защите от ракет, но Ислам говорит, что его технология применима ко всем летательным аппаратам. ■

Чарлз Чой



## ДОЛОЙ ВИРУСНУЮ УГРОЗУ!

Возможно, будет создан противовирусный препарат широкого спектра действия, повреждающий липидную оболочку вирусов

Бенгур Ли (Benhur Lee) совершил открытие, которое, возможно, перевернет представления медиков о неустойчивости вирусов, позволив нейтрализовать ВИЧ, экзотический вирус Эбола, обычный грипп и многие другие вирусные инфекции.

В своей лаборатории Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Ли создал и изучал гибридный вирус, скомбинированный из оболочки смертельного вируса Нипах и сердцевины, принадлежащей гораздо менее опасному вирусу везикулярного стоматита. Гибрид легко инфицировал клетки, но не реплицировался. Работая с ним, исследователь опробовал набор из 30 тыс. химических смесей, способных повредить оболочку (которая обеспечивает проникновение вируса в клетку).

«И одна смесь, называемая LJ001, оказалась эффективной и не токсичной для культур клеток», – говорит Ли.

После серии исследований, подтвердивших полученный результат, Ли отправил образцы смеси в Национальную лабораторию в Галвестоне при Медицинском отделении Техасского университета, где имеются биобезопасные лаборатории для работы с вирусами Нипах, Эбола и прочими возбудителями смертельных болезней. Результаты исследования показали, что LJ001 действительно тормозит проникновение в клетку любого из этих вирусов. Позднее Ли проверил действие смеси на ВИЧ и выяснил, что и здесь она работает. Он продолжал тестирование смеси на других вирусах, доведя их число до 20, причем все эксперименты оказались успешными.

Затем были проведены дополнительные эксперименты, в результате которых выяснилось, что на другие, принципиально иные классы вирусов смесь не действует. Имен-



но тогда Ли понял, что LJ001 активна только против вирусов, у которых есть липидная оболочка (и которые одновременно относятся к группе наиболее смертельных вирусов).

Секрет смеси в том, что ее компоненты связываются с любыми липидами (будь то липиды оболочки вируса или молекулы мембраны клетки человека) повреждая образующие ими структуры. Но полноценная клетка восстанавливает поврежденную мембрану, в то время как вирус, имея более простое строение, не имеет механизмов самовосстановления. (Свежеобразовавшиеся вирусы получают свои липидные оболочки, в прямом смысле вырезая их из клеточной мембраны, в тот момент, когда они выходят из инфицированной клетки.) Поэтому когда LJ001 разрушает вирусные липидные оболочки, они гибнут.

Первая статья Ли по противовирусному действию смеси появилась в феврале 2010 г. в Proceedings of the National Academy of Sciences USA.

Вирусолог Уорнер Грин (Warner C. Greene) из Калифорнийского университета в Сан-Франциско счел, что работа заслуживает глубокого интереса, но предупредил, что «с терапевтической точки зрения это еще очень, очень ранняя стадия исследований». Он отметил, что повреждение клеточных мембран человека могут оказаться более значительными, чем считается на данный момент. «Например, эмбриональные клетки зачастую гораздо более чувствительны, чем лабораторные культуры», – говорит ученый.

Ли надеется вскоре это выяснить. В настоящий момент он работает с коллегами из Калифорнийского университета над созданием из многообещающей смеси лекарства, которое будет обладать не только широким спектром действия, но и еще одним полезным свойством. «Я не могу себе представить, как вирусы смогут развить устойчивость к подобному типу препаратов», – говорит Ли. ■

**Боб Пер**

## АХИЛЛЕСОВА ПЯТА УБИЙЦЫ

Геном «испанки» поможет бороться с будущими эпидемиями



Прошло пять лет с тех пор, когда группа ученых воссоздала вирус гриппа 1918 г., используя ткани легких жертвы эпидемии, долго хранившейся в вечной мерзлоте. Тогда их великий подвиг как широко чувствовался, так и подвергался острой критике. Противников тревожил риск случайного (или преднамеренного) высвобождения возрожденного убийцы, погубившего от 50 до 100 млн человек и считающегося виновником одного из самых страшных бедствий за всю историю человечества. Сторонники же утверждали, что знания, полученные в результате исследования полностью восстановленного вируса, будут полезными для борьбы с новой пандемией.

В статье, опубликованной в ноябрьском номере журнала *Microbe*, в качестве свидетельства того, что риск был не напрасным, указыва-

ется, среди прочих открытий, новая потенциальная мишень для воздействия лекарств. Терренс Тампи (Terrence Tumpey) из Центров контроля и профилактики заболеваний и его коллеги сосредоточились на изучении белка PB1, необходимого для копирования генетического материала вируса. Когда исследователи заменили в обычном вирусе гриппа белок PB1 вариантом из 1918 г., обычный вирус превратился в сверхубийцу: он репродуцировался и распространялся среди хозяев-грызунов в восемь раз быстрее, убивая в итоге больше мышей. Оказалось, что вирусы всех пандемий XX в., включая вирус свиного гриппа 2009 г., имели гены белка PB1 птичьего гриппа, а большинство сезонных вирусов гриппа имеют гены белка PB1 гриппа человека.

Сегодня ученые работают над созданием новых препаратов, нацеленных на белок PB1. Маленькие молекулы, связывающиеся с рецепторами белка, могут не дать вирусу реплицироваться, что намного уменьшит его болезнетворность. Нужда в новых лекарствах против гриппа становится все острее, поскольку несколько недавно появившихся штаммов вируса, включая свиной грипп, невосприимчивы к существующим препаратам вроде Tamiflu. В сочетании с более старыми противогриппозными средствами лекарства, нацеленные на PB1, могут радикально повлиять на распространение резистентности. ■

**Дженин Интерланди**

## ДВИЖЕНИЕ С ПОТОКОМ

### Возможны ли гравитационные аналоги электрических трансформаторов?

Если считать успешной ту теорию, которая дает больше, чем в нее было вложено, то первенство следует отдать общей теории относительности Эйнштейна. Исходя из нескольких простых принципов и грубых мысленных экспериментов (например, что произойдет, если вы окажетесь запертым в падающем лифте), эта теория предсказала все, что мы знаем о гравитации, и многое, о чем мы не догадывались. В качестве свежего примера укажем предположение Джона Суэйна (John Swain) из Северо-Западного университета о том, что возможно создание гравитационного трансформатора, преобразующего кинетическую энергию подобно тому, как электрический трансформатор преобразует электрическую.

Его идея основана на поразительном сходстве уравнений общей теории относительности с уравнениями электричества и магнетизма. Гравитационное поле, заставляющее падать яблоко, подобно электрическому, только роль электрического заряда играет масса. И так же, как движение электрических зарядов порождает магнит-

ное поле, движение масс создает «гравитомагнитное» поле. Например, вращение Земли затягивает в движение спутники. Этому эффекту присвоено название «захват системы отсчета» (frame dragging).

Стационарный поток массы аналогичен постоянному электрическому току, а нестационарный – переменному. Если вы поместите рядом две проволоки, переменный ток в одной из них будет создавать магнитное поле, которое в свою очередь будет порождать, или «индуцировать», переменный ток в другой, передавая таким образом мощность, – вот вам и трансформатор. Почему то же самое не должно быть верным для потоков масс? И тогда гравитомагнетизм мог бы передавать мощность от одного потока масс другому, соседнему.

Физик и футуролог Роберт Форвард (Robert L. Forward) упомянул об этом в статье 1961 г., а Суэйн предположил, что подобный процесс естественным образом протекает, например, при образовании черных дыр. Ученые, вероятно, могли бы даже воспроизвести его в лаборатории. «Существует множество

ситуаций, где можно ожидать проявления таких трансформатороподобных эффектов», – считает Суэйн.

Однако разговоры о манипулировании гравитацией в лаборатории у некоторых физиков вызывают возмущение. Идея Суэйна воспринимается специалистами по теории относительности как неопределенная и скорее всего не поддающаяся проверке. «Я заметил, что Суэйн никогда не приводит конкретных цифр для своих расчетов», – заметил Клиффорд Уилл (Clifford M. Will) из Университета штата Вашингтон в Сент-Луисе.

Сходство между гравитацией и электромагнетизмом лишь приблизительно, добавляет Джованни Моданезе (Giovanni Modanese) из Болдцанского университета в Италии. Однако теоретикам еще нужно доказать, что гравитомагнетизм способен индуцировать токи. Во всяком случае, Моданезе подозревает, что это невозможно. Однако примечательно уже то, что теория столетней давности продолжает вызывать столь живую полемику. ■

**Джордж Массер**

## ХОКИНГ ПРОТИВ БОГА

### Битва за вечность в программе Larry King Live

Не оплошал ли Стивен Хокинг? Книга *The Grand Design* («Великий замысел»), написанная британским физиком в соавторстве с Леонардом Млодиновым из Калифорнийского технологического института, вышла из печати в сентябре 2010 г. и вызвала бурю эмоций, т.к. некоторые увидели в ней научно обоснованное отрицание существования Бога.

В этой книге утверждается, что сегодня физика может объяснить, откуда возникла Вселенная и почему законы природы именно таковы. Вселенная возникла «из ничего» благодаря силе гравитации, а законы природы – случайность, присущая той конкретной части Вселенной, в которой нам довелось жить. «На все эти вопро-

сы можно ответить исключительно в рамках науки без привлечения каких-либо сверхъестественных существ», – пишут авторы. (Краткое изложение этой книги представлено в № 11–12 ВМН за 2010 г.)

Богословы были возмущены. Они утверждали, что существование Творца по определению лежит за рамками предмета науки. Некоторые, в частности преподобный Роберт Баррон (Robert E. Barron), профессор богословия Университета св. Марии Озерной вблизи Чикаго, обвиняют авторов в философской наивности. Например, Баррон утверждает, что законы, ко-

торые способствовали возникновению Вселенной, должны были существовать до Большого взрыва.

Когда шумиха вышла за пределы блогов и твитов в прайм-тайм телевидения, авторы возразили, что они вовсе не имели в виду, будто наука доказала, что Бога нет. «Бог, быть может, и существует, – сказал Хокинг Ларри Кингу (Larry King) из CNN, – но наука способна объяснить Вселенную без привлечения Бога».

«Мы не утверждаем, будто доказали, что Бога нет, – говорит Млодинов. – Мы не говорим даже, что не Он создал Вселенную». Что же касается законов физики, продолжает он, некоторые могут приписать их

установление Всевышнему. «Если вы думаете что Бог – это олицетворение квантовой теории, дело ваше».

С другой стороны, научное описание происхождения Вселенной может быть не таким полным, каким представляет его Хокинг. Оно основано на теории струн и даже на еще более загадочном (и не менее интересном) ее варианте, известном под названием М-теории, а также на собственных космологических представлениях Хокинга. «Теории, на которых Хокинг и Млодинов основывают свои доводы, имеют столько же эмпирических подтверждений, сколько и существование Бога», – писал космолог Марчело Глейзер

(Marcelo Gleiser) в блоге NPR.org. Более того, добавил он, «поскольку мы не имеем инструментов, способных измерить все в природе, мы даже не можем быть уверены, что располагаем полной теорией».

С ним согласен физик-теоретик Леонард Зускинд (Leonard Susskind) из Стэнфордского университета, чья книга Cosmic Landscape («Космический ландшафт»), вышедшая в 2006 г., также ставит под сомнение необходимость Творца для сотворения. «Не все физики думают, что поиски общей теории завершены, – говорит он. – Я не уверен, что мы сколько-нибудь продвинулись». Есть Бог или нет, понять мироздание вовсе не так легко. ■

**Давиде Кастельвеки**

## Publishing Expo 2010

В церемонии открытия уже шестого по счету ежегодного Форума приняли участие представители Минкомсвязи, Роспечати, FIPP и WAN-IFRA, начальник управления периодической печати, книгоиздания и полиграфии Юрий Пуля, президент ГИПП Александр Страхов, заместитель председателя Комитета ГД по информационной политике, информационным технологиям и связи Ильяз Муслимов, а также, заместителем генерального директора Всемирной газетной и информационно-издательской ассоциации WAN-IFRA Манфред Верфель (Manfred Werfel) и президент Международной федерации журнальной прессы (FIPP) Крис Льюэллин (Chris Llewellyn).

Открывая форум, президент ГИПП И. Муслимов отметил, что в бюджете 2011 г. объем средств, выделенных на поддержку издательской отрасли, вырастет на 21,5% по сравнению с нынешним и составит 5 млрд рублей. Статистика показывает, что издательствам, полиграфическим предприятиям и большинству активных участников рынка удалось пережить кризис

благодаря умению принять новые правила игры и за счет накопленных ранее ресурсов. Сегодня экономическая ситуация стабилизируется, но многие проблемы остаются.

В то же время очевидный тренд – беспокойство издателей по поводу сокращения доходов от печатной прессы и главное, снижению ее эффективности из-за наступления цифровых и мобильных платформ. Все это ставит на повестку дня вопрос о коренном изменении модели издательского бизнеса. Президент FIPP Крис Льюэллин заявил, что один из путей – реализация международных проектов, журналов, выходящих сразу во многих странах. К концу сентября 2009 г. в мире их было 57, а по данным на октябрь 2010 г. – уже 67. Такие проекты не только дают доход их организаторам, но и стимулируют конкуренцию на рынке. И здесь у российского рынка есть резервы и перспективы, о чем свидетельствует присутствие на форуме иностранных партнеров.

Мероприятия деловой программы дали участникам новую информацию, необходимую для развития

и расширения бизнеса, помогли обсудить проблемные места и прояснить со спикерами и коллегами накопившиеся вопросы. Каждый смог найти для себя семинар или конференцию соответствующей направленности.

Наибольший интерес вызвали такие мероприятия, как конференция WAN-IFRA/ГИПП «Глобальные тенденции в сфере цифрового и мобильного паблишинга: новые возможности для издателей», где выступил Манфред Верфель, конференция «Реклама в прессе: уроки кризиса и перспективы», среди выступающих на которой были Георгий Микаберидзе, корпоративный директор по маркетинговым исследованиям и развитию бизнеса ИД «АФС-ИМГ», и Клара Льямас (Clara Llamas), соучредитель консалтинговой компании Vaibmu Ltd. (Финляндия), которая рассказала о классифайдной рекламе, ее тенденциях и перспективах. Закрывая форум, исполнительный директор ГИПП Юлия Казакова сказала: «Мы уловили тенденции. Все мероприятия деловой программы до одного пользовались успехом. Я думаю, что форум поможет индустрии встретить следующий год во всеоружии». ■

**Сергей Федоров**

## ПОЛЕ БИТВЫ

Новый метод визуализации позволяет следить за развитием заболеваний в реальном времени

Чем мощнее автомобиль, тем большей разрушительной силой он обладает. Это правило относится и к клеточным организмам. неполадки в работе митохондрий, «энергетических станций» клеток, могут быть источником многих хронических и недостаточно хорошо изученных болезней человека – рака, сердечно-сосудистых патологий, нейродегенеративных расстройств (болезни Паркинсона или Альцгеймера). Болезнь начинается с того, что под действием неблагоприятных факторов окружающей среды (загрязненная вода, табачный дым и т.д.) в митохондриях возникают нарушения, следствием которых становится повышение уровня высокоактивных кислородсодержащих веществ.

Как разворачивается цепочка событий, приводящая к такому финалу, до конца не ясно. Но сегодня исследователи располагают новым методом визуализации, который позволяет увидеть в реальном времени, что происходит, когда нарушается нормальный ход вещей. Метод помогает зафиксировать повреждения в митохондриях еще до того, как они приведут к серьезным нарушениям в работе клеток.

Долгое время считалось, что поврежденные митохондрии высвобождают высокоактивные молекулы кислорода, которые затем наносят удар по ДНК и белкам, повышая вероятность развития заболеваний. Но некоторые химические вещества из окружающей среды, токсичные для митохондрий, сами служат источником вредоносных молекул. Возникает вопрос: что же в таком случае первично, а что вторично? Джеймс Самет (James M. Samet), токсиколог из Национальной лаборатории по исследованию влияния окружающей среды на здоровье человека в г. Чапел-Хилл (штат Северная Каролина), решил вы-

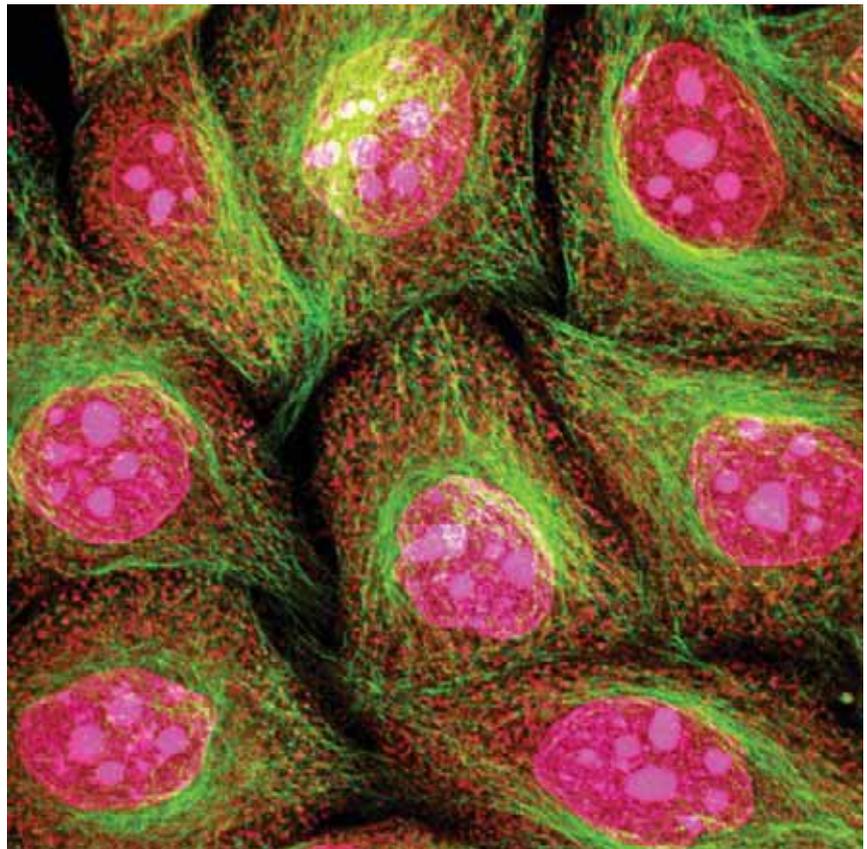
яснить, побочный ли продукт повреждений такие высокоактивные молекулы, или они сами повреждают митохондрии. «Узнать правду можно только одним путем: проследить всю цепочку событий в реальном времени, наблюдая за живыми клетками», – считает Самет.

С этой целью в митохондрии живых клеток кожи ввели три флуоресцентные молекулы. Одна светилась в присутствии пероксида водорода, две другие реагировали на повреждение органелл. Затем клет-

ки обработали веществами, токсичными для митохондрий. Сенсоры повреждений начинали флуоресцировать сразу же, сенсоры пероксида водорода – чуть позже. Отсюда следует, что высокоактивные кислородсодержащие вещества лишь указывают на наличие повреждений, а не вызывают их.

Самет уверен, что с помощью новой методики можно будет разобраться в патогенезе многих хронических заболеваний. ■

Мелинда Уэннер Мойер



**Митохондрии крупным планом.** Разработан метод наблюдения за повреждением «энергетических фабрик» клеток – митохондрий (малиновый цвет) во время развития заболевания

## ПЛАТЬЕ ДЛЯ ПРИНЦЕССЫ

Как законы физики помогли создать наряд для новой звезды студии Диснея



Когда аниматоры студии Уолта Диснея впервые нарядили звезду мультфильма *Tangled* («Рапунцель: запутанная история») и стали поворачивать ее перед зеркалом, она застыла в положении вполоборота, а складки ее многослойного пурпурного платья легли жестко, как панцирь. Создатели фильма столкнулись с трудностью, которая давно мучила мультипликаторов-костюмеров.

«Мы решили создать более сложное одеяние, чем удавалось ранее с применением компьютерной графики, – объяснил исследователь группы Walt Disney Animation Studios Research Рasmus Тамсторф (Rasmus Tamstorf). – Но когда персонаж в свободном многослойном наряде движется, разные слои ткани могут соприкоснуться, особенно, когда они скользят один по другому. И это может вызывать трудности».

Вместо того чтобы умерить свои эстетические запросы или привлечь армию аниматоров для обработки сложных сцен вручную, как обычно поступают честолюбивые создатели мультфильмов, Тамсторф и его ко-

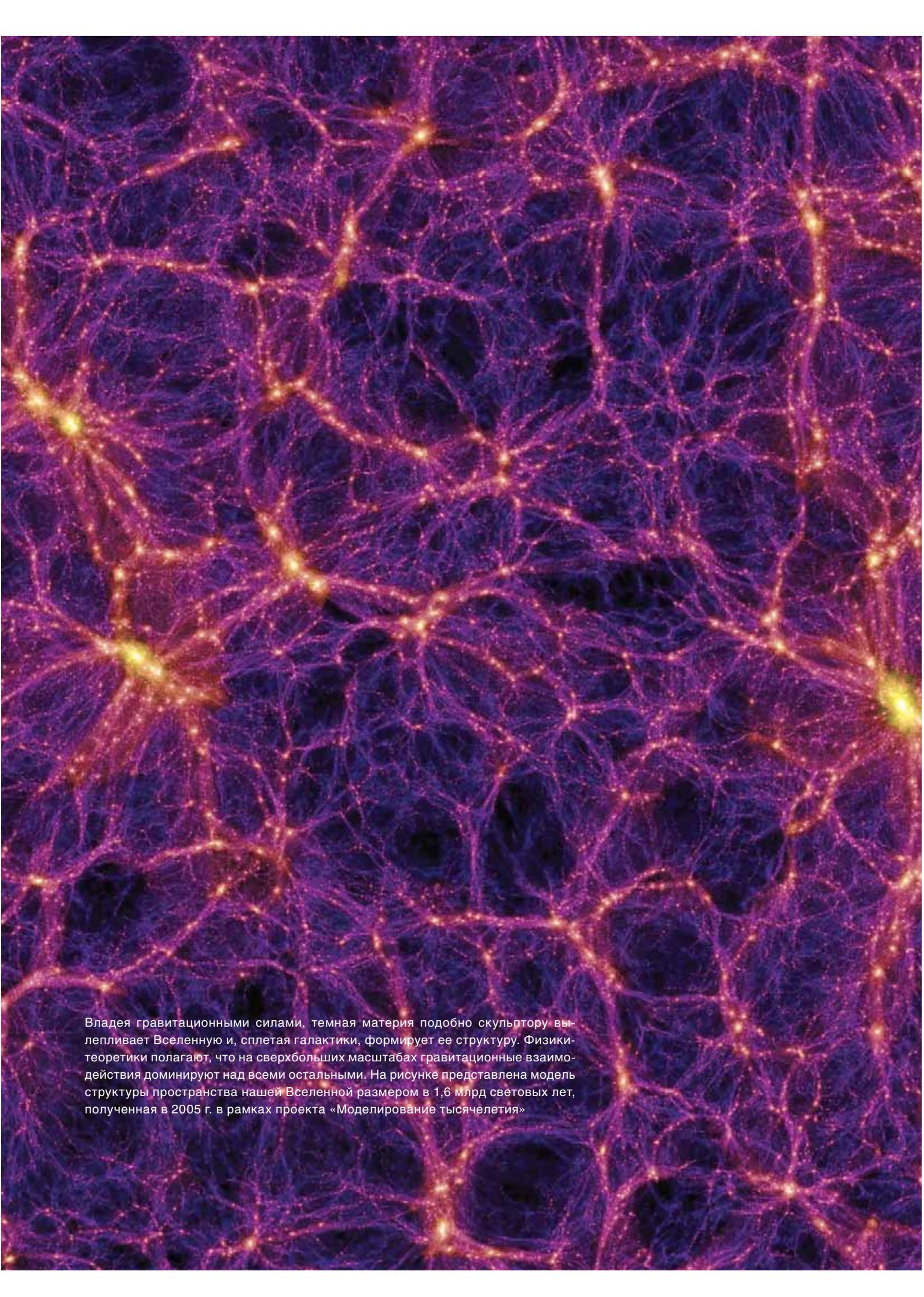
манда решили, что пора найти новый способ решения проблемы.

Они связались с профессионалом в области компьютерной техники Эйтаном Гринспуном (Eitan Greenspun) из Технической школы Колумбийского университета, который специализировался на изучении реакции материалов на столкновения. Он увлекся этой областью в 2002 г., когда «анимировал» падающую и подскакивающую на полу ковбойскую шляпу. Он часами изучал замедленные кадры фильма и в итоге нашел простейшее уравнение для выражения взаимодействия переменных, влияющих на отскок шляпы. В их число входили трение, «гибкость» (упругость) шляпы и момент количества движения, с которым она ударялась о пол. Затем Эйтан перевел свое уравнение в простой компьютерный код, который можно использовать для предсказания движения любого «гибкого материала», включая резину, ткани и даже металлические листы.

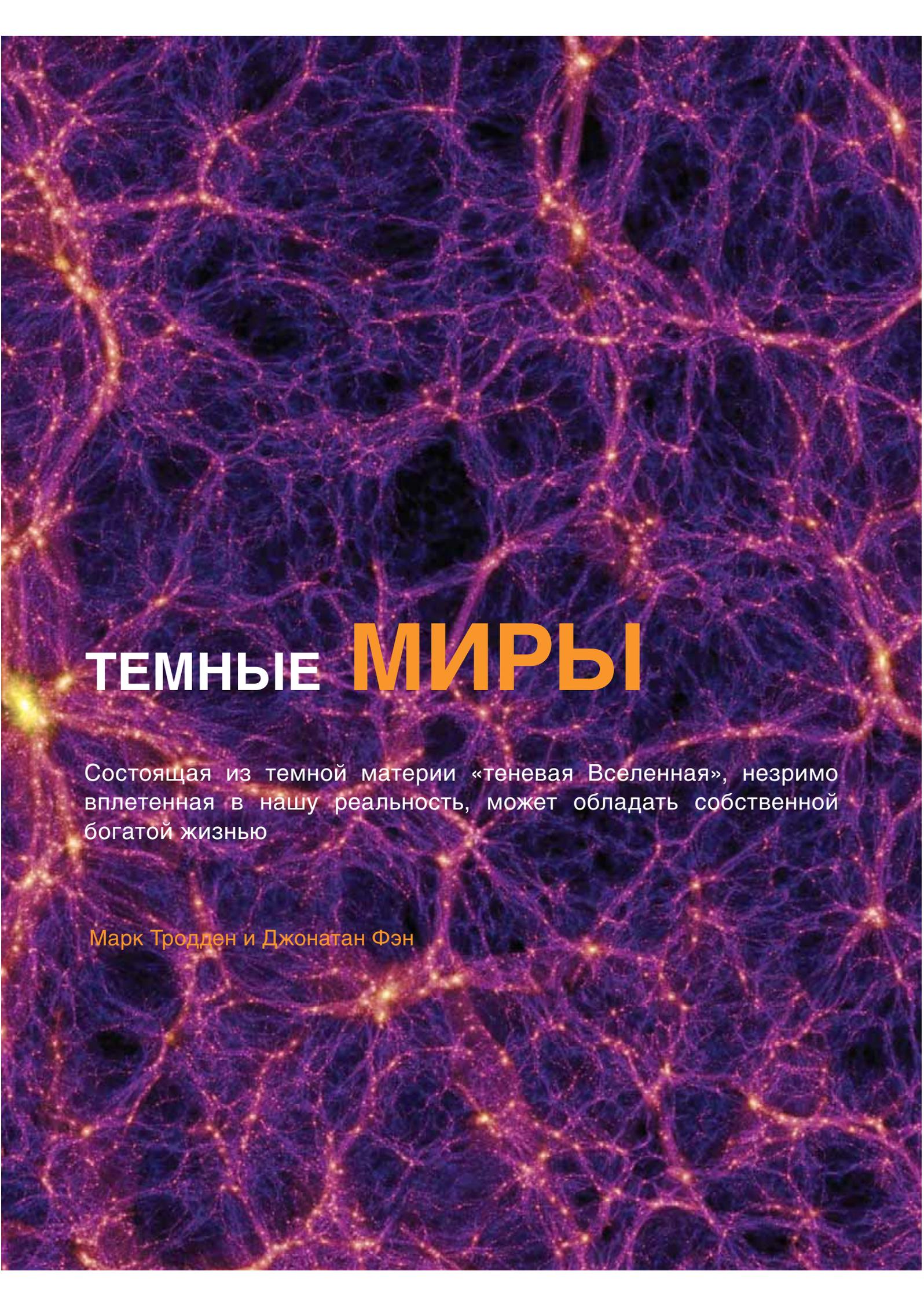
Однако изобразить движения затейливого платья принцессы Рапунцель – трудная задача. В случае многослойных одежд компьютер

должен учитывать тысячи возможных одновременных соприкосновений. Когда программа анимации оказывается перегруженной данными, она обращается к резервной «защитной» (fail-safe) программе, которая не позволяет слоям ткани создавать новые соприкосновения. Прежние такие программы продолжали движение ткани, но не допускали взаимных перемещений слоев, создавая впечатление жесткости. Через несколько месяцев Гринспун и Тамсторф нашли решение. Они смирились с необходимостью защитной программы, предотвращающей новые соприкосновения, но их программа допускала взаимное скольжение слоев и учитывала трение, определяющее скорость такого скольжения. Результат оказался гораздо более реалистичным. Сегодня Гринспун переходит к решению новой задачи – разработке программы точного прогнозирования движения волос, которое сложнее, чем соприкосновение тканей. Он рассчитывает, что его метод будет использован уже в следующем фильме, который должен выйти в 2011 г. ■

Адам Пьоре



Владея гравитационными силами, темная материя подобно скульптору вылепливает Вселенную и, сплетая галактики, формирует ее структуру. Физики-теоретики полагают, что на сверхбольших масштабах гравитационные взаимодействия доминируют над всеми остальными. На рисунке представлена модель структуры пространства нашей Вселенной размером в 1,6 млрд световых лет, полученная в 2005 г. в рамках проекта «Моделирование тысячелетия»

A visualization of the cosmic web, showing a complex network of dark matter filaments and galaxy clusters. The filaments are depicted as thin, glowing purple and blue lines, while the clusters are represented by bright, orange and yellow points of light. The overall background is a deep, dark purple.

# ТЕМНЫЕ МИРЫ

Состоящая из темной материи «тенивая Вселенная», незримо вплетенная в нашу реальность, может обладать собственной богатой жизнью

Марк Тродден и Джонатан Фэн

**23** сентября 1846 г. директор Берлинской обсерватории Иоганн Готфрид Галле (Johann Gottfried Galle) получил письмо, которое изменило ход истории астрономии. Письмо пришло от француза Урбена Леверье (Urbain Le Verrier), изучавшего Уран. Ученый пришел к выводу, что движение этой планеты невозможно объяснить, учитывая только известные на тот момент гравитационные силы, а потому предположил существование дополнительного невидимого массивного объекта, возмущающего орбиту Урана образом, согласованным с наблюдениями. Следуя указаниям Леверье, Галле обнаружил планету Нептун именно там, где и предсказывала теоретическая модель.

В современную эпоху актеры сменились, но роли остались теми же. Астрономы наблюдают аномальное движение небесных тел и делают вывод о наличии не обнаруженных пока объектов, охота за которыми – важнейшая задача современной космологии. В роли Урана выступают теперь звезды и галактики, чье движение отличается от предсказываемого теорией. В роли Нептуна – либо темная материя, состоящая из невидимых в электромагнитных лучах и обладающих массой объектов неизвестной природы, либо темная энергия, особое состояние вещества, «размазанного» по пространству. По характеру наблюдаемых аномалий мы можем выявить некоторые особенности этих актеров. Темная материя скорее всего представляет собой области невидимых в электромагнитных лучах частиц, которые неравномерно заполняют пространство. Темная энергия равномерно распределена по пространству Вселенной и действует так, как будто сама представляет собой его часть. Современные ученые по сути продолжают следовать хорошему зарекомендовавшему себя методу Галле: астрономические наблюдения показывают признаки существования скрытых форм материи

и энергии, влияющих на движение видимых тел. Однако появляется и множество ложных следов, ошибочных сигналов, вызванных, например, дефектами детекторов.

Нептун, будучи сначала всего лишь незримой силой, действовавшей на Уран, сам по себе оказался многообразным миром. Можно ли ожидать подобного «разоблачения» от темной энергии и темной материи? Так, некоторые ученые полагают, что отвечать за движение видимых тел – это всего лишь одна из немногих функций темной материи, и что в реальности темная материя образует свой собственный мир сложной структуры и многочисленных свойств. В этом «темном мире», незримо, но цепко вплетенном в нашу реальность, может обитать множество неизвестных нам частиц, взаимодействующих, быть может, по даже не известным пока законам природы.

## Темная сторона

Долгое время большинство исследователей полагали, что темная материя и темная энергия крайне мало взаимодействуют с обычным веществом, что эти экзотические состояния вещества крайне обособлены и далеки от нас. Авторы статьи предлагают иную точку зрения.

С тех пор, как в 30-х гг. прошлого века астрономы впервые обнаружили указания на существование скрытого вещества, основным его свойством стала считаться инертность, т.е. очень медленная эволюционирование. Наблюдения показывают, что массовая доля темной материи превосходит массовую долю обычного вещества примерно в шесть раз. Галактики и галактические скопления окружены гигантскими гало темной материи. Чтобы не противоречить данным прямых астрономических наблюдений, такие большие массы должны состоять из частиц, очень слабо взаимодействующих с обычным веществом либо контактирующих преимущественно друг с другом. Единственное, в чем они проявляют себя, – в использовании гравитационного взаимодействия со светящейся материей.

Астрономы полагают, что в истории образования галактик первым сформировалось гало темной материи, которое затем вовлекло в созданную потенциальную яму и обычную материю. Последняя, будучи гибкой к различным изменениям, постепенно развивалась, порождая богатейшее семейство наблюдаемых сегодня галактик, тогда как инертная темная материя сохранилась в своих изначаль-

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Ученые обладают двумя независимыми аргументами из разных разделов физики, для того чтобы предположить, что Вселенная заполнена неизвестной формой вещества – темной материей. Не только звезды, галактики и газопылевые туманности движутся так, как будто на них действует некая неизвестная дополнительная гравитационная сила, но и некоторые ядерные процессы – например явление радиоактивности – представляют собой вопрос, ответ на который дает предположение о существовании неизвестных частиц.
- Темная материя обычно полагается состоящей из частиц–вимпов (от англ. аббревиатуры WIMP – «слабо взаимодействующие массивные частицы»), которые очень слабо взаимодействуют с частицами обычной видимой материи. Такой сценарий представляется довольно унылым.
- Может ли темная материя быть более разнообразной? Специалисты по физике частиц ищут ответ на этот вопрос, и в результате их исследований темная материя демонстрирует нам гораздо более богатую структуру: многочисленные частицы, взаимодействующие по неизвестным нам законам, в том числе существование невидимого глазу «черного света».

**ЧТО СКРЫВАЕТСЯ ВО МРАКЕ?**

Современные астрономические инструменты установили существование невидимой материи и энергии во Вселенной, но смогли только слегка поцарапать верхушку айсберга неизвестных нам частиц и взаимодействий

**НЕБАРИОННАЯ МАТЕРИЯ (23%)**

Так называемая «экзотическая» материя; может быть чувствительной только к некоторым из известных типов взаимодействий

**БАРИОННАЯ МАТЕРИЯ (4%)**

Обычная видимая материя, построенная из атомов, чувствительна ко всем четырем типам взаимодействий. Она составляет доступную наблюдениям часть Вселенной

**ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ (73%)**



**ГОРЯЧАЯ ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ**

Некоторые виды материи, например нейтрино, существуют только при субсветовых скоростях



**ХОЛОДНАЯ ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ**

Некоторые виды материи с момента рождения движутся очень медленно



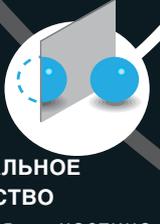
**САМОДЕЙСТВИЕ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ**

Частицы могут взаимодействовать друг с другом гораздо интенсивнее, чем с частицами обычной материи



**ЗЕРКАЛЬНОЕ ВЕЩЕСТВО**

Каждая частица обычной материи обладает своим «зеркальным отражением» в скрытом мире



**СКРЫТЫЕ СИЛЫ (МОДЕЛЬ БЕЗ ЧАСТИЦ-ВИМПОВ)**

Частицы могут быть чувствительны к «темным» аналогам электромагнитных и слабых ядерных взаимодействий

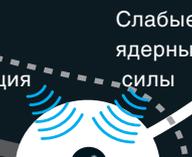
**СУПЕРВИМПЫ**

Частицы, представляющие собой продукты распада вимпов, могут быть чувствительными только к гравитационным взаимодействиям, но не к слабым ядерным



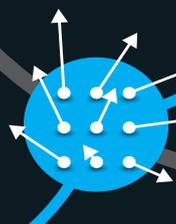
**ВИМПЫ (WIMP)**

Слабо взаимодействующие массивные частицы участвуют в гравитационных взаимодействиях и подчиняются силам слабого ядерного взаимодействия



**КВИНТЭССЕНЦИЯ**

Одна из динамических форм темной энергии, которая может возникать при взаимодействии с материей



**ЭНЕРГИЯ ВАКУУМА**

Кажущееся пустым пространство в действительности может быть заполнено темной энергией, рожденной вследствие неустранимых квантовых флуктуаций вещества



**СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ ЧАСТИЦЫ**

Принципы суперсимметрии обосновывают возможность существования новых частиц

**«ИЗБЕГАНИЕ»**

Наиболее обособленные из тех, с чем не взаимодействующие частицы – предпочтительные кандидаты на роль темной материи

**АКСИОНЫ**

Частицы более легкие и слабо взаимодействующие, чем нейтрино, могут помочь решить загадку темной материи с помощью сильных ядерных взаимодействий





ных виде и конфигурации. Что касается темной энергии, то единственная ее роль, известная нам из наблюдений, – это движущая сила ускоренного расширения современной Вселенной. Доступные нам наблюдения дают указания на то, что темная энергия практически не меняется на всем периоде существования Вселенной. Идея о том, что темная материя может обладать гораздо более сложной структурой и разнообразными свойствами, принадлежит не астрономам, а скорее специалистам в области элементарных частиц, многие методы исследования которых независимы от космологических теорий. Начало изучению темной материи было положено в начале прошлого века с открытием радиоактивного бета-распада. Великий итальянский ученый Энрико Ферми пытался объяснить данный процесс введением новой фундаментальной силы и вновь появившихся частиц-переносчиков, ответствен-

ных за бета-распад ядер. Эта новая сила была аналогична силе электромагнитного взаимодействия, а новые частицы – фотонам, за некоторым важным исключением. Ферми предположил, что в отличие от частиц – переносчиков света, фотонов, которые благодаря своей нулевой массе делают электромагнитные силы дальнедействующими, новые частицы должны быть массивными. Благодаря наличию массы у своих частиц-переносчиков, новые силы должны были бы оказаться короткодействующими, а потому незаметными на больших расстояниях, что и показывали эксперименты. Так, для объяснения наблюдаемого времени полураспада радиоактивных изотопов частицы-переносчики должны были быть очень тяжелыми – примерно в 100 раз тяжелее протона или, в пересчете на энергетические единицы, весить около 100 ГэВ. Теперь эти новые силы называются силами слабого ядерного взаимодействия, а их частицы-пере-

носчики – W- и Z-бозонами, открытыми в 1980-е гг. Сами по себе они не частицы темной энергии, но их свойства намекают на ее существование. Вообще говоря, эти частицы не должны были быть такими тяжелыми. Наличие столь больших масс может свидетельствовать о существовании неких скрытых так называемых «суперпартнеров» этих частиц, предсказываемых теорией суперсимметрии. Открытие таких скрытых частиц, а также ожидающих своей очереди десятков других типов частиц планируется на современном протон-протонном ускорителе БАК (Большой адронный коллайдер). Предсказываемые гипотетические частицы получили общее название слабодействующие массивные частицы или вимпы (от сокращения WIMP – weakly interacting massive particle). Их название следует из того факта, что они взаимодействуют, кроме гравитации, только посредством слабых ядерных взаимодействий. Будучи нечувствительными к электромагнитным взаимодействиям, доминирующим в нашей повседневной жизни, вимпы полностью невидимы, и их любое прямое воздействие на обычные частицы слабо. Таким образом, эти гипотетические частицы – хорошие кандидаты на роль космологической темной материи. Способность вимпов объяснить природу темной материи зависит от количества подобных частиц. Таким образом, решение космологической проблемы становится зависимым от физики элементарных частиц. Подобно другим частицам, вимпы могли бы быть рождены при Большом взрыве. Участие этих частиц в высокоэнергетических процессах рождения и уничтожения приводило к тому, что в заданный момент времени существовало определенное их количество, заданное двумя основными параметрами. Первый параметр – температура расширяющейся Вселенной, в процессе которого оставалось все меньше энергии, необходимой на рождение вимпа; таким

образом, под воздействием этого параметра количество вимпов уменьшалось со временем. Второй параметр – разлет частиц, что снижает частоту столкновений частиц. В результате действия этих двух процессов уже спустя 10 нс после Большого взрыва изменение количества вимпов полностью останавливается, поскольку, с одной стороны, во Вселенной больше нет необходимо высокой энергии для их рождения, с другой – прекращаются процессы взаимодействия частиц, уничтожающих вимпы. Зная массу (энергию) вимпа и его сечение рассеяния, характеризующее, как часто эти частицы аннигилируют друг с другом, физики могут легко оценить количество вимпов. Оказывается, что с точностью до погрешностей в оценке масс и сечений рассеяния вимпов, их количество оказывается достаточно точным, чтобы объявить вимпами всю современную темную материю. Так, проблема, зародившаяся более века назад в физике элементарных частиц, позволила решить одну из ключевых задач современной наблюдательной космологии. Модель также указывает на инертность вимпов. Оценки показывают, что около миллиарда таких частиц беспрепятственно и незаметно прошли сквозь вас, пока вы читаете эту статью. За целый год можно ожидать всего лишь одного события взаимодействия вимпа с атомным ядром какой-нибудь клетки вашего тела с выделением очень незначительного количества энергии. Чтобы иметь хоть какую-то надежду зарегистрировать такое редчайшее событие, ученые создали детекторы частиц, предназначенные для мониторинга больших объемов жидкостей или других веществ на протяжении длительных периодов времени. Астрономы же ищут в галактиках вспышки излучения, которыми могли бы сопровождаться столкновение и аннигиляция вимпов. Еще один способ поиска этих частиц – попытка их синтеза в земных лабораториях.

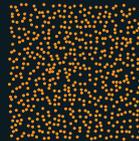
Illustration by Bryan Chisette

### ГРАДАЦИЯ НЕЗАМЕТНОСТИ

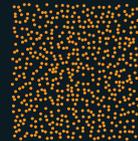
Супервимпы были первыми частицами, обогатившими стандартный сценарий темной материи в виде одних вимпов. Термин отчасти ироничен: в названии частиц слово «супер» означает не большую энергию, чем у вимпов, но большую слабость, большую незаметность при взаимодействии с частицами обычной материи. Супервимпы взаимодействуют с барионной материей только посредством гравитации

	 Барионная материя	 Вимпы	 Супервимпы
Гравитация	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Электромагнитные силы	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Сильные ядерные силы	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Слабые ядерные силы	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Неизвестные «темные силы»	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

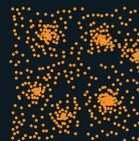
В сценарии вимпов (левая колонка) эти частицы – непосредственная основа формирования галактик. В сценарии супервимпов (правая колонка) вимпы распадаются на супервимпы, которые в дальнейшем служат той же «затравочной массой» для концентрации вблизи нее частиц обычной материи и формирования галактик, однако с некоторым запаздыванием по сравнению с первым сценарием



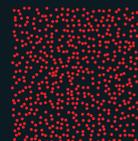
Вимпы, рождающиеся в ранней Вселенной после Большого взрыва



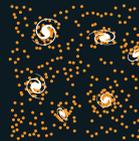
Вимпы, рождающиеся в ранней Вселенной после Большого взрыва



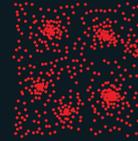
Вимпы замедляются и дают основу галактикам



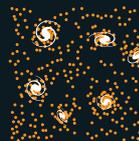
Вимпы распадаются на быстрые супервимпы



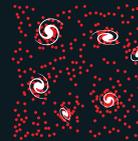
Формирование галактик



Супервимпы замедляют свою скорость и служат основой для образования галактик



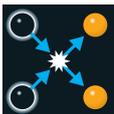
Эволюция галактик



Формирование галактик

## КАК УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ

Давно известно, что темная материя косвенно проявляет себя в гравитационных взаимодействиях с обычной видимой материей. Однако чтобы понять природу темной материи, необходимы ее прямые наблюдения. Эта задача не из простых: слишком уж темная материя темна. Тем не менее исследования активно продолжаются, причем основной упор приходится на частицы–вимпы. Существует три основных стратегии поиска вимпов: по их аннигиляции, рассеянию и рождению



### АННИГИЛЯЦИЯ

Когда встречаются два вимпа, они уничтожают друг друга, оставляя после себя другие частицы, такие как электроны, позитроны и нейтрино. Аннигиляция лишь частична, иначе до наших дней не дожил бы ни один вимп. К счастью, уровень современных наблюдений чувствителен даже к незначительному количеству событий аннигиляции. Детекторы, установленные на высотных баллонах и спутниках, регистрируют электроны и позитроны. В ближайшем году космический аппарат доставит на МКС Магнитный альфа–спектрометр для поиска позитронов. Наземные обсерватории – эксперимент Super–Kamiokande (Япония), Ice Cube (Антарктика) – ищут нейтрино



### ПРЯМОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ

В своем путешествии по космическому пространству темная материя должна проходить сквозь Землю. С малой, хотя и не нулевой вероятностью вимп может попасть в атомное ядро и вызвать его отскок, поддающийся регистрации. Современная криогенная технология позволяет уменьшать естественные колебания атома и таким образом регистрировать даже очень слабый отскок. Два эксперимента, DAMA и GoGeNT, сигнализировали о получении сигналов, но другие – XENON и CDMS – ничего не обнаружили. Эксперименты продолжаются



### РОЖДЕНИЕ

Темная материя может быть создана в ускорителях частиц, подобных Большому адронному коллайдеру в CERN. В ходе этого эксперимента сталкиваются идущие навстречу друг другу пучки протонов, обладающих сверхвысокими энергиями. Рождение темной материи – это процесс уничтожения темной материи, обращенный вспять. Так, если темная материя может аннигилировать с рождением частиц обычного вещества, то темную материю можно получить при столкновении обычных частиц. Сигналом к обнаружению темной материи послужило бы столкновение частиц, при котором часть энергии и момента вращения оказались бы недостающими, показывая, что родились некие очень слабо взаимодействующие частицы, которые легко покинули детектор. Ученые ожидают, что в ходе этого эксперимента окажется возможным выявить природу темной материи во Вселенной

Название эксперимента	CDMS	DAMA	GoGeNT	PAMELA
<b>Расшифровка названия эксперимента</b>	Криогенный поиск темной материи	Темная материя	Когерентная германиевая нейтринная технология	Прибор исследования антиматерии и астрофизики легких ядер
<b>Место расположения</b>	Рудник в Судане, Миннесота	Подземная лаборатория Гран-Сассо, Италия	Рудник в Судане	Российский спутник
<b>Что обнаружено</b>	Два события отскока	Годичная вариация количества событий отскока	Событие отскока	Избыток позитронов
<b>Почему сигнал можно считать реальным</b>	Прямой ожидаемый сигнал темной материи	Статистически значимое событие	Чувствительность к сверхнизким колебаниям энергии	Прямой ожидаемый сигнал аннигиляции темной материи
<b>Почему сигнал нельзя считать реальным</b>	Статистически не значимое событие	Частично исключен другими результатами	Естественное событие в ядре	Другие астрофизические источники
<b>Следующие эксперименты</b>	SuperCDMS, XENON	XENON, MAJORANA	XENON, MAJORANA	Магнитный альфа-спектрометр

### Более вимпы, чем сами вимпы

Неустанно попытки отыскать вимпы могут навести читателя на мысль, что эти частицы – единственно возможные кандидаты на роль темной материи, в то время как это далеко не так. Недавние исследования в физике элементарных частиц указали новые пути объяснения природы темной материи. Так, частицы–вимпы могут оказаться всего лишь верхушкой айсберга неизведанного, скрытых миров, наполненных частицами, живущими по другим законам и под действием неизвестных нам сил.

Одно из исследований в этом направлении привело к созданию концепции существования частиц, еще более оторванных от нашей реальности, чем даже вимпы. Теоретики полагают, что вимпы сформировались в первые наносекунды после Большого взрыва и могли быть неустойчивыми. На секунды или даже дни позже эти частицы могли распасться на другие частицы сравнимых масс, но не вступающих в реакции слабого ядерного взаимодействия. Таким образом, единственной нитью, связывающей эти новые частицы с нашим реальным миром, стала бы гравитация. Ученые не без иронии назвали эти частицы супервимпами, которые также могли бы составлять темную материю в современной нам Вселенной. Супервимпы невозможно наблюдать напрямую астрономическими инструментами, но они могли бы оставлять некие знакомые следы в профиле яркости галактик. Родившись, супервимпы должны были обладать преимущественно субсветовой скоростью. Им было необходимо некоторое время, чтобы погасить эту скорость и положить начало зарождению протогалактик. Но расширение Вселенной все это время продолжалось, и потому благодаря этой задержке обычное вещество получало меньше времени на концентрацию в центральных областях формирующихся галактик и рассеивалось в пространстве. Таким образом, величина плотности центра гало тем-

ной материи позволяет различить, из вимпов или из супервимпов состоит эта темная материя. Астрономы исследуют эту плотность. Заметим также, что реакция распада вимпов на супервимпы могла бы породить электроны или фотоны, которые могли бы ударять в легкие ядра. Так, есть указания, что Вселенная содержит меньше лития, чем ожидалось; супервимпы смогли бы объяснить этот недостаток.

Гипотеза супервимпов предлагает материал для размышления не только астрономам, но и физикам–экспериментаторам. Например, первоначальная вимп–частица не обязательно должна быть или скрытой, или слабовзаимодействующей; она может обладать электрическим зарядом. Каков бы ни был заряд, он никак не повлияет на эволюцию Вселенной, поскольку сама частица очень быстро распадается. Тем не менее наличие этого заряда привело бы к тому, что вимпы стали бы хорошо отождествляемы в лабораторных условиях. Обладая таким же зарядом, но в 100 тыс. раз большей массой, подобные частицы могут оставлять хорошо заметные треки.

### Темные силы, скрытые миры

Основной урок моделей супервимпов – демонстрация того факта, что нет ни наблюдательных, ни теоретических ограничений возможности объяснить природу темной энергии большим количеством равноправных сущностей, о которых изначально и не подозревали астрономы. Коль скоро признается возможность существования скрытых частиц, обладающих иными свойствами, чем предсказывает модель стандартных вимпов, логично рассматривать все возможные типы скрытых частиц. Может ли оказаться скрытым такой набор частиц, чтобы стало возможным существование целого скрытого мира, точной копии нашего? В этом мире были бы скрытые электроны и протоны, которые формировали бы скрытые атомы и молекулы, а те в свою очередь

формировали бы скрытые планеты, звезды и даже скрытых людей...

Возможность идентичности нашего и незримого мира исследовалась теоретиками неоднократно, начиная с комментария к статье нобелевских лауреатов 1957 г. Цзундао Ли (Tsung–Dao Lee) и Ян Чжэньнина (Chen Ning Yang) и вплоть до недавнего времени. Может ли оказаться так, что считаемое нами темной материей – на самом деле следствие существования незримого объекта, зеркального нашему миру? И есть ли в этом зазеркалье физики и астрономы, которые так же пытаются проникнуть в тайны темной материи, которой, с их точки зрения, являемся мы?

К сожалению, наблюдения показывают, что скрытые миры не могут быть точной копией нашего видимого мира. Во–первых, потому что темной материи примерно в шесть раз больше, чем обычной. Во–вторых, если темная материя ведет себя как обыкновенная материя, то гало галактик должно эволюционировать в плоские дисковые структуры, подобные нашему Млечному пути. Эти преобразования должны в свою очередь сопровождаться грандиозными гравитационными пертурбациями, что не подтверждается наблюдениями. И, наконец, в–третьих, существование скрытых частиц, идентичных нашим, воздействовало бы на темп космологического расширения, повышая скорость синтеза водорода и гелия в ранней Вселенной, что также не соответствует наблюдениям. Эти доводы фактически опровергают существование скрытых людей.

Как уже говорилось, темные миры могут оказаться вместилищами разнообразных частиц, взаимодействующих по новым для нас законам. В одном из направлений теоретических исследований, которому следует и один из авторов настоящей статьи (Джонатан Фэн), совместно с учеными из Гавайского университета было обнаружено, что в рамках суперсимметричных моделей, в которых, как уже было сказано, сценарий вимпов переходит



## ОБ АВТОРАХ

**Марк Тродден** (Mark Trodden) – соруководитель Центра по изучению физики частиц в космологии при Университете Пенсильвании.

**Джонатан Фэн** (Jonathan Feng) – физик–теоретик Калифорнийского университета в Ирвайне, работающий на стыке физики элементарных частиц и космологии с акцентом на проблемы темной материи.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Einstein’s Telescope: The Hunt for Dark Matter and Dark Energy in the Universe. Evalyn Gates. W. W. Norton, 2009.

■ Approaches to Understanding Cosmic Acceleration. Alessandra Silvestri and Mark Trodden in Reports on Progress in Physics, Vol. 72, No. 9, Paper No. 096901; September 2009. arxiv.org/abs/0904.0024

■ Modern Cosmology and the Building Blocks of the Universe. Mark Trodden. Penn Alumni Weekend Lecture, May 15, 2010. <http://www.sas.upenn.edu/home/news/troddenandabbate/trodden.html>

■ What’s the Matter? The Search for Clues in Our Cold, Dark Universe. Jonathan Feng. Pagels Memorial Public Lecture, July 14, 2010. [vod.grassrootstv.org/vodcontent/9251-1.wmv](http://vod.grassrootstv.org/vodcontent/9251-1.wmv)

■ Dark Matter Candidates from Particle Physics and Methods of Detection. Jonathan L. Feng in Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics, Vol. 48, pages 495–545; August 2010. arxiv.org/abs/1003.0904

дит в сценарий супервимпов, возможно появление и других новых частиц. Кроме того, эти новые частицы, сменяющие вимпы, взаимодействуют друг с другом с помощью новых, неизвестных нам сил, названных темными. Ученые показали, что такие силы могут повышать интенсивность рождения и уничтожения (аннигиляции) частиц в ранней Вселенной, однако количества этих частиц не достаточно для объяснения современной темной материи. Эти модели предсказывают, что действие темной материи может сопровождаться эффектами скрытых сил слабого взаимодействия или даже некоторым подобием скрытой электромагнитной силы, под воздействием которой темная материя может излучать и отражать скрытые фотоны.

Скрытые фотоны («черный свет») мы, конечно, не способны увидеть. Темная материя остается невидимой для наших глаз. Однако новые силы могли бы иметь значительные наблюдательные эффекты. Например, эти силы могли бы деформировать проходящие друг сквозь друга облака частиц темной материи. Астрономы искали такие эффекты в знаменитом скоплении Пули, состоящем из двух тесно взаимодействующих между собой скоплений (кластеров) галактик. Наблюдения показывают, что темная материя в этих двух кластерах остается невозмущенной, а это значит, что темные силы не должны быть слишком велики. Исследования «силы темных сил» продолжаются и на других системах.

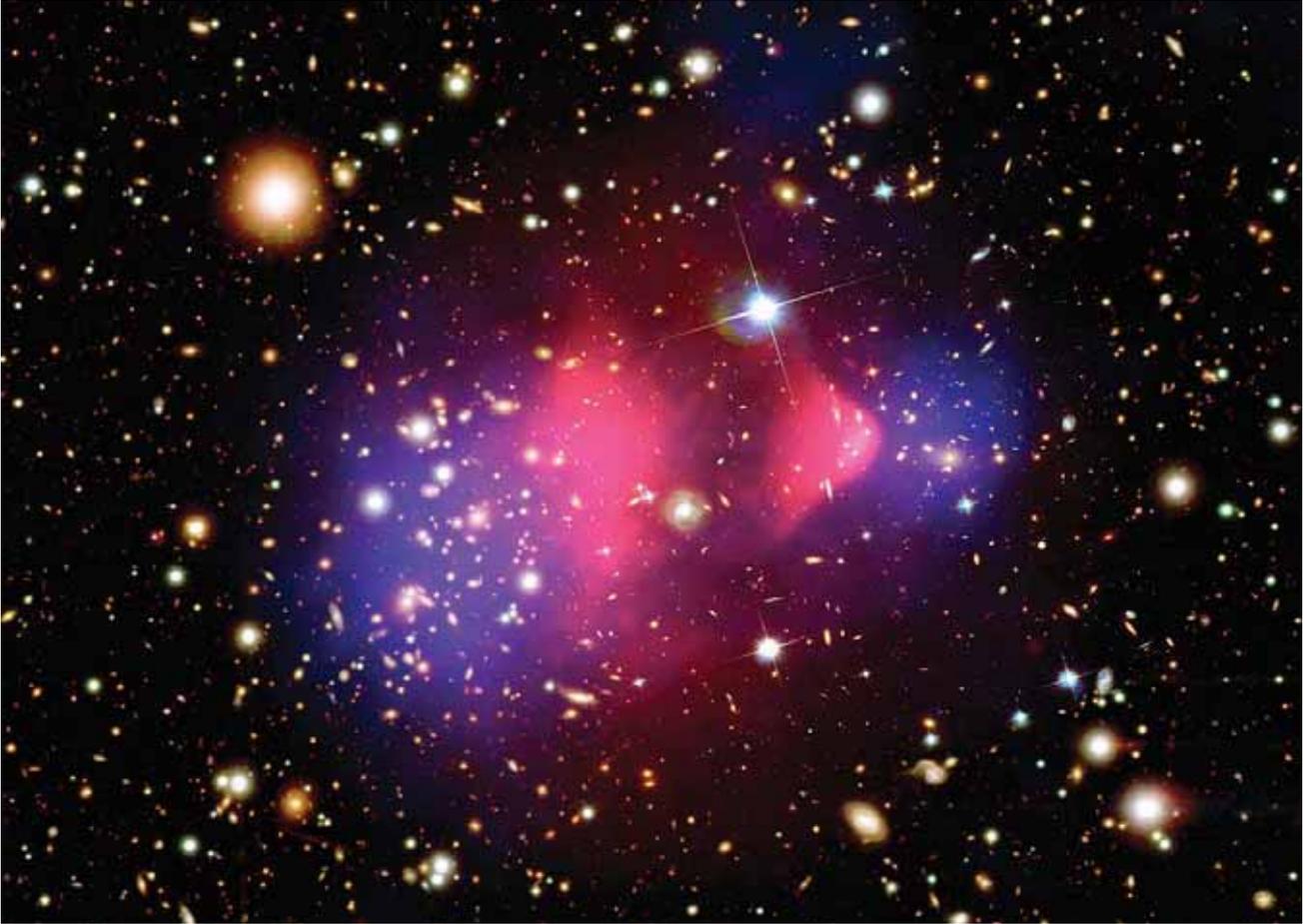
С помощью темных сил темные частицы могли бы обмениваться энергией и моментом вращения, что привело бы к установлению однородности в системах темных частиц и к тому, что состоящие из них гало приобретали бы сферическую форму. Этот процесс должен быть наиболее заметен для небольших – карликовых – галактик, в которых темная материя медленно вращается, частицы движутся рядом друг с другом, и поэтому малые эффекты могут существовать довольно

долго. Наблюдаемый систематический эффект шарообразности карликовых галактик, более выраженный, чем у более крупных галактик, – косвенное указание на активность темных сил. Исследования в этом направлении только начинаются.

## Из мрака во мрак

Еще одно интересное свойство темной материи – ее возможное взаимодействие с темной энергией. Несмотря на то что наиболее реалистичные теории полагают темную материю и темную энергию не связанными, нет серьезных оснований возводить это предположение в закон. В настоящее время ведутся активные исследования возможных следствий такого взаимодействия. Есть надежда, что связь между ними сможет по крайней мере смягчить некоторые острые космологические проблемы, например проблему сопоставимости их плотностей. Плотность темной энергии примерно в три раза больше плотности темной материи, хотя это отношение могло быть и тысяча, и миллион. Такое совпадение имело бы смысл, если темная материя была каким-либо образом чувствительна к темной энергии.

Связь с темной энергией могла бы привести к тому, что частицы темной материи стали бы взаимодействовать между собой так, как не могли частицы обычной материи, что показывают недавние исследования. Под воздействием сил, вызванных влиянием темной энергии, темная материя обособливается от обычной материи. В 2006 г. Марк Каминковский (Marc Kamionkowski) из Калифорнийского технологического института и Майкл Кесден (Michael Kesden) из Канадского института теоретической астрофизики в Торонто исследовали на предмет этого эффекта карликовые галактики. Например, карликовая галактика в созвездии Стрельца разорвана приливным гравитационным полем Млечного пути, и по предположениям астрономов, ее темная материя и обычное вещество долж-



## СЕРЕБРЯНАЯ ПУЛЯ

С точки зрения астрономов известное скопление Пули – наиболее яркое указание на существование темной материи. Более детально оно представляет собой два сливающихся галактических скопления (кластера). Это слияние не оказывает влияния на звезды этих галактик, но влияет на протяженные области межзвездного газа, испускающие в процессе взаимодействия рентгеновское излучение (показано розовым на рисунке). Темная материя (показана голубым на рисунке) обнаруживает свое существование, искривляя своими гравитационными полями световые лучи, идущие от фоновых источников

ны перетекать в нашу Галактику. По расчетам Камионковски и Кесдена, если бы силы, влияющие на темную материю, отличались хотя бы на 4% от сил, действующих на обычную видимую материю, то это привело бы к наблюдаемому смещению обоих компонентов. Наблюдательные данные показывают отсутствие такого смещения.

Другая гипотеза – связь темной материи и темной энергии – должна повышать рост космических структур, которые чувствительны к составу Вселенной, в том числе и ее темной составляющей. Ряд исследователей, включая второго автора

этой статьи (Марк Тродден), использовали этот мощный индикатор для того, чтобы отсеять широкий класс нереалистичных моделей.

Несмотря на эти, казалось бы, нулевые практические результаты, корпус теоретических обоснований различных структур темных миров в настоящее время настолько обширен, что исследователи скорее удивились бы, обнаружив, что темная материя состоит всего лишь из вимпов. Отметим, что обычная видимая материя состоит из большого количества разнообразных частиц, взаимодействия между которыми опреде-

ляются красивыми принципами симметрии – и нет никаких указаний на то, что темная материя и темная энергия не подчиняются этим принципам. Да, мы не нашли скрытых звезд, скрытых планет и скрытых людей. Но подобно тому, как теперь мы уже не можем представить себе Солнечную систему без Нептуна, Плутона и еще более удаленных от нас транспланетонных объектов, также однажды мы не сможем представить себе Вселенную без темных миров. ■

Перевод: О.С. Сажина

# МИСТЕР ОБЪЕДИНИТЕЛЬ

Многие годы космос и атом находятся в конфликте. Если кто-то из физиков и может примирить их, так это Стивен Вайнберг

Интервью: Амир Аксель

Однажды, когда Стивен Вайнберг (Steven Weinberg) сидел за рулем своего красного Самара, ему в голову пришла хорошая идея, которая впоследствии нашла воплощение в статье «Модель лептонов» на двух с половиной страницах, включая ссылки и благодарности. В 1967 г. на нее мало кто обратил внимание. Однако позднее эта статья стала одной из наиболее цитируемых работ по физике и помогла Вайнбергу получить в 1979 г. Нобелевскую премию вместе с Абдусом Саламом (Abdus Salam) и Шелдоном Глэшоу (Sheldon Glashow).

На этих двух с половиной страницах Вайнберг показал, что два из четырех известных фундаментальных взаимодействий элементарных частиц – электромагнитное и слабое, кажущиеся на первый взгляд совершенно различными, могут быть лишь разными проявлениями одного «электрослабого» взаимодействия. Данная теория предсказывала существование еще одной нейтральной частицы в числе промежуточных бозонов, осуществляющих слабое взаимодействие. И Вайнберг показал, что природная симметрия электромагнитного взаимодействия оказывается скрытой, или, как говорят физики, «спонтанно нарушенной», из-за чего мы

и воспринимаем электромагнитное и слабое взаимодействия как различные. Процесс нарушения симметрии порождает такие частицы, как кварки с ненулевой массой покоя.

Стивен Вайнберг внес вклад и в теорию третьего вида фундаментальных взаимодействий – сильного. Сегодня обе теории составляют основу наиболее признанного объяснения материального мира – Стандартной модели физики элементарных частиц.

Вайнберг продолжает исследовать глубинные тайны природы, предлагая теории, которые выхо-

дят за рамки Стандартной модели и дают надежду на создание полной единой теории, которая будет охватывать не только электромагнитное и ядерные взаимодействия, но и гравитационное. Он выполнил одну из первых работ в области теории струн – наиболее вероятного кандидата на роль единой теории. Кроме того, Вайнберг пишет книги для широкого круга читателей. Последняя из них – сборник эссе под названием Lake Views («Виды на озеро»). Редакция журнала Scientific American попросила физика Амира Акселя из Бостонского университета поговорить со Стивеном Вайнбергом

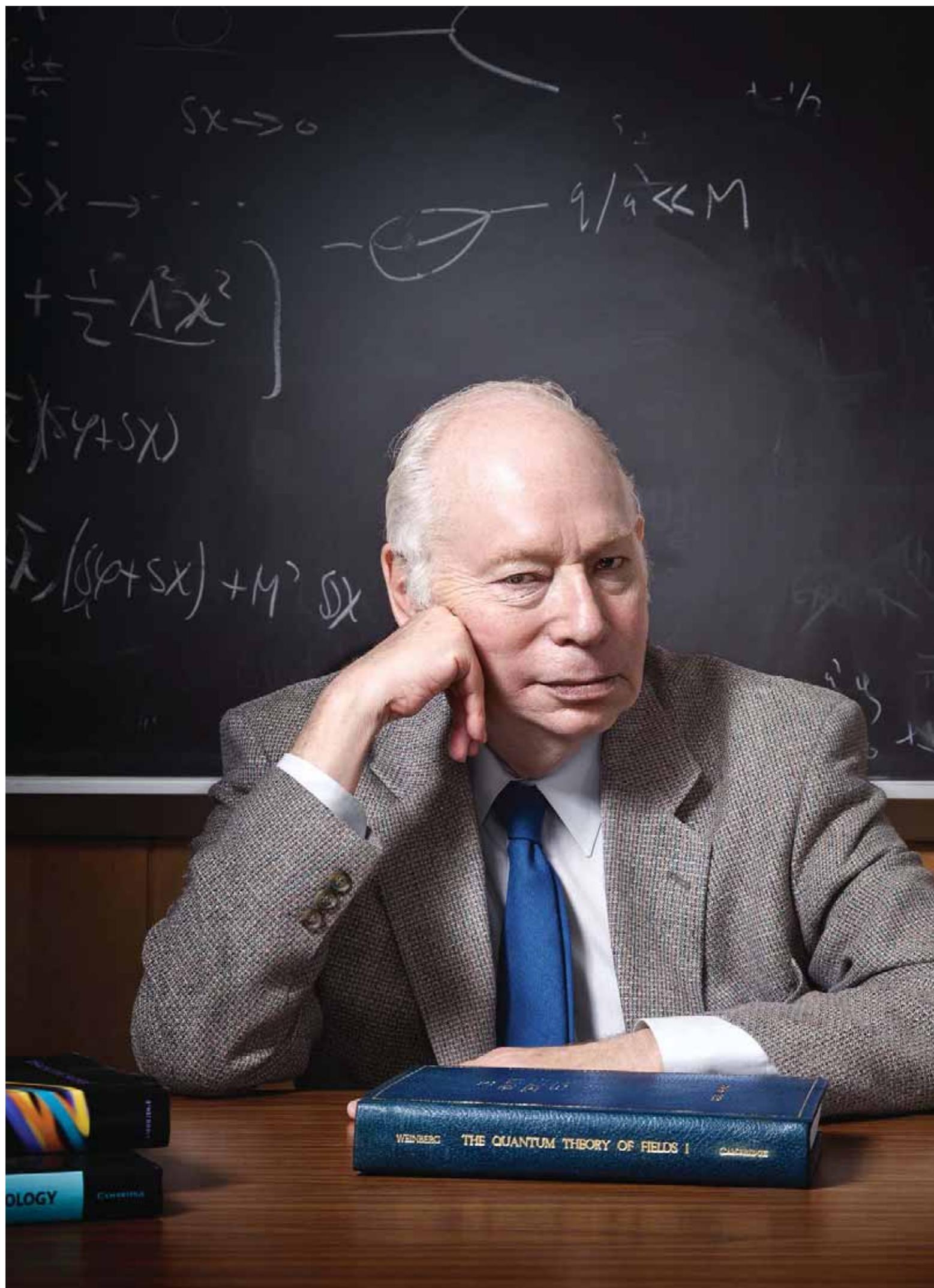
## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

■ Создание единой теории материи – главная цель современной физики, и очень немногие физики внесли в ее создание такой вклад, как Стивен Вайнберг из Техасского университета в Остине.

■ В 1960–х гг. Вайнберг помог разработать устои Стандартной модели: объединение электромагнитного и слабого взаимодействий и теорию сильного взаимодействия.

С тех пор он продолжает работать над завершением создания единой теории, внося в частности вклад в создание теории струн, включающей в себя единственное фундаментальное взаимодействие, не охваченное Стандартной моделью, – гравитационное.

■ Кроме того, Вайнберг приложил физику элементарных частиц к космологии. Его модель, объясняющая природу темной энергии в понятиях параллельных вселенных, – наиболее широко цитируемый аргумент в пользу существования Мультивселенной.



о перспективах этих теорий, как они представляются сегодня, когда на Большом адронном коллайдере (БАК) – гигантском ускорителе в CERN близ Женевы – ведутся поиски бозона Хиггса и других частиц.

**– Большой адронный коллайдер работает уже более полугода и вызывает повышенный интерес. Некоторые даже считают, что полученные на нем данные станут предпосылкой для революции, подобной произошедшей в XX в. после создания квантовой теории и теории относительности. А каково ваше мнение?**

– Я думаю, ожидания сильно завышены. Не исключено, что будут получены данные, способные произвести переворот в нашем представлении о физике, но оснований для этого нет. Причиной революции такого масштаба может быть лишь что-то совершенно непредвиденное, а значит, я этого не могу ожидать!

Мы пытаемся сделать следующий шаг за рамки Стандартной модели и достичь точки, где сможем уверенно говорить о том, что происходило на ранних этапах образования Вселенной. На это, вероятно, потребуется время. Кроме того, мы надеемся объединить данные, чтобы получить теорию, охватывающую все частицы и все взаимодействия. И пока нам неизвестно, как она будет выглядеть.

Я думаю, что когда мы достигнем действительно всеобъемлющего понимания природы на самом фундаментальном уровне, оно проникнет во все общество. Теория будет, вероятно, очень насыщена математикой, и широкие слои населения не скоро воспримут ее – ведь даже ученые долго не понимали теорию Ньютона, хотя в итоге ньютоновская картина мира оказала огромное влияние на общее представление людей о мире и человеческой жизни. Она оказала воздействие на экономику, биологию, политику и религию. Я полагаю, что если мы действительно создадим всеобъемлющую теорию природы, может произойти нечто подобное.

Мне представляется, что наша картина мира охватывает все больше его сторон, и то, что раньше казалось необъяснимым, например природа сил, удерживающих частицы внутри атома, сегодня хорошо изучено. Но на месте прежних уже появились новые вопросы – скажем, почему частицы в стандартной модели имеют именно такие свойства. Тайны, получившие свое объяснение, еще долго будут сменяться новыми. Хотелось бы высказать предположение, что мы в итоге придем к ситуации, когда новых загадок такого рода уже не будет. И это станет поистине примечательной поворотной точкой в интеллектуальной истории человечества.

**– Частицу Хиггса часто называют главной целью Большого адронного коллайдера, подразумевая, что на коллайдере Теватрон лаборатории им. Ферми она не будет открыта. Насколько зависят от этой частицы электрослабая унификация и стандартная модель?**

– Я бы сказал, что они полностью зависят от допущения о нарушении симметрии при электрослабом взаимодействии. Но если вы спросите, почему нарушается симметрия, то ответа на этот вопрос пока нет. Механизм нарушения симметрии, входящий в нашу с Саламом теорию электрослабого взаимодействия, требует существования некоей новой частицы, получившей название частицы (бозона) Хиггса. Наша простая картина позволила предсказать соотношение масс промежуточных бозонов, которое, похоже, с успехом оправдалось.

Но есть и другая возможность: что симметрия нарушается неизвестными пока силами без участия частицы Хиггса. Такие новые силы должны быть очень большими, гораздо больше известных сил сильного взаимодействия. Ленни Зускинд (Lenny Susskind) и я независимо работаем над созданием теории, которой решили дать название «Техниколор» (Technicolor). Она должна дать те же предсказания масс промежуточных бозо-

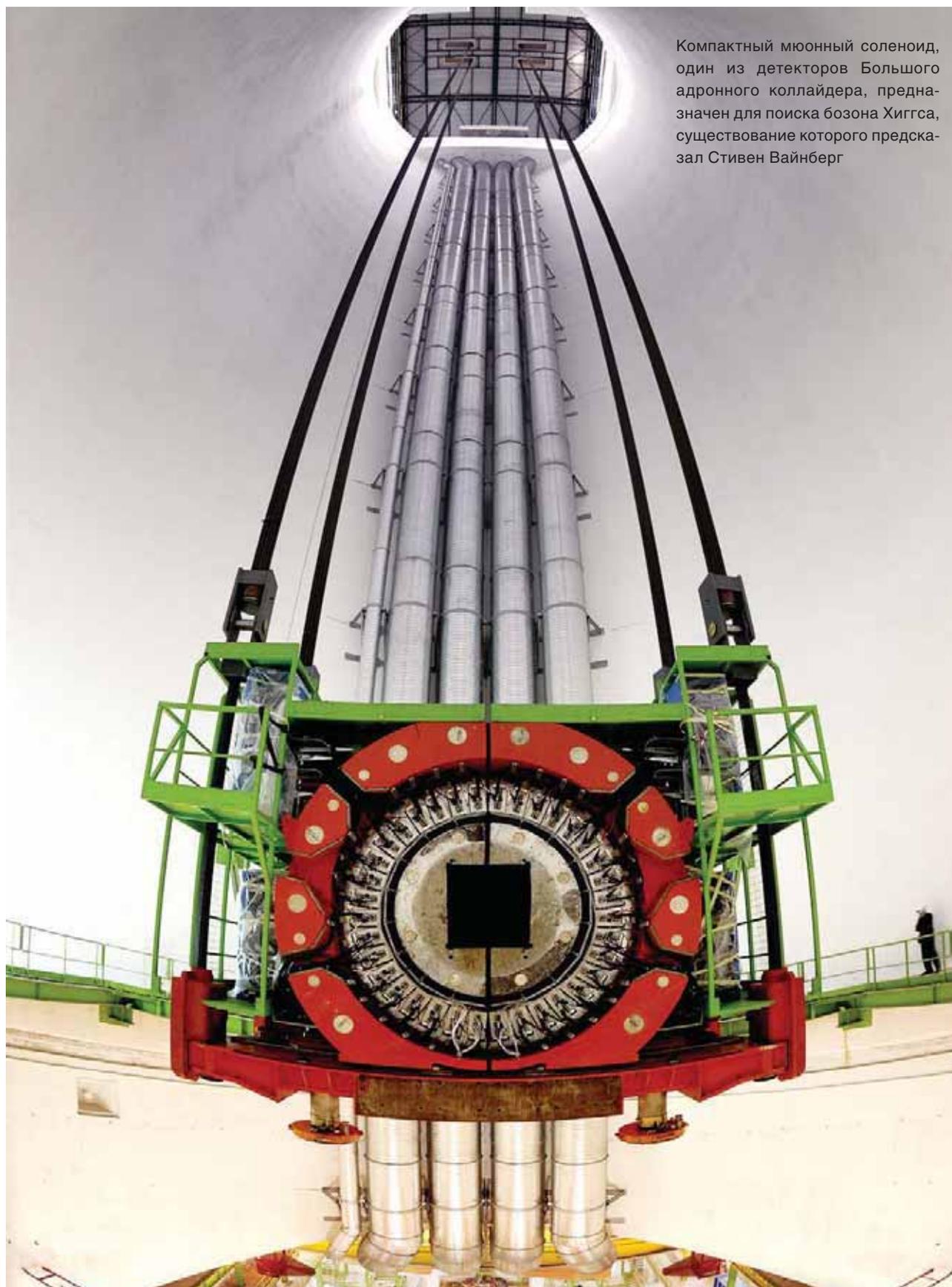
нов, что первоначальная теория электрослабого взаимодействия, но имеет трудности при объяснении масс кварков. Над теорией «Техниколор» продолжают работать и некоторые другие теоретики, которые верят, что она перспективна. И это возможно. Тогда БАК должен найти ей подтверждения. Силы, предусматриваемые теорией «Техниколор», породят целый зоопарк новых частиц.

Поэтому, даже если БАК и не обнаружит бозон Хиггса, он может выявить нечто другое, играющее ту же роль, например «Техниколор». И действительно, можно показать, что если совсем не вводить никаких новых частиц, мы придем к математическим противоречиям.

**– Еще один принцип, который физики надеются подтвердить с помощью БАК, – это суперсимметрия, идея которой состоит в том, что «частицы сил», промежуточные бозоны, и частицы вещества, электроны и кварки, глубоко взаимосвязаны. Некоторые физики убеждены в существовании суперсимметрии не меньше, чем Эйнштейн был уверен в своей теории относительности. Вы тоже так думаете?**

– Нет. Частная теория относительности очень хорошо согласовывалась со всем, что уже было известно из теории и экспериментов, – с электромагнитной теорией Максвелла и с тем, что никто не смог обнаружить «эфир», в существование которого верили люди. И достанься мне счастье создать в 1905 г. частную теорию относительности, я бы, как и Эйнштейн, не сомневался в ее верности.

В отношении суперсимметрии у меня такой уверенности нет. У нее есть ряд небольших достижений. Она позволила уточнить предсказания значений ключевых параметров Стандартной модели и предоставила естественных кандидатов на роль частиц темной материи (см. в этом номере: Тродден М., Фэн Дж. Темные миры). И у нее есть прекрасная чер-



Компактный мюонный соленоид, один из детекторов Большого адронного коллайдера, предназначен для поиска бозона Хиггса, существование которого предсказал Стивен Вайнберг

COURTESY OF CERN

та – это единственный мыслимый вид симметрии, который позволяет объединить такие частицы, как промежуточные бозоны с электронами. Но это неубедительно.

**– Вы работаете над антропным принципом, идей, что наша Вселенная не имеет более глубокого объяснения, чем то, что мы живем в особой обитаемой части более крупной области. В частности вы утверждаете, что антропный принцип дает наилучшее объяснение плотности темной энергии, таинственного фактора, который заставляет ускоряться расширение Вселенной. Можете вы что-нибудь рассказать об этом?**

– Мы много рассуждаем о вещах, которые считаем фундаментальными, таких как массы частиц, различные виды сил и тот факт, что мы живем в трех пространственных и одном временном измерениях. Однако возможно, что все это определяется лишь существующими условиями. Вселенная может быть гораздо более обширной, чем мы себе представляем, и содержать нечто большее, чем последствия Большого взрыва. Могут существовать различные «части» Вселенной, имеющие совершенно иные свойства; в них то, что мы называем законами природы, может быть совершенно другим. Отличными могут быть даже число измерений пространства и времени. Должен существовать какой-то основной закон, описывающий все сущее, но мы можем быть гораздо дальше от его открытия, чем нам представляется сегодня.

Когда я впервые написал об этом в 1987 г. (что остается верным и сегодня), я был открыт для восприятия различных представлений о том, что Вселенная может состоять из частей, в которых такие свойства, как плотность темной энергии, могут быть разными. Одно из представлений – теория хаотической инфляции Вселенной Андрея Линде, согласно которой в разное время в разных местах происходило много больших взры-

вов, и каждому из них соответствовали свои значения таких вещей, как плотность темной энергии.

Как объясняет Стивен Хокинг (см.: Млодинов Л., Хокинг С. Неуловимая единая теория всего // ВМН, № 11–12, 2010), Вселенная может представлять собой суперпозицию квантовых состояний подобно знаменитому коту Шредингера. Как этот кот может находиться одновременно в двух состояниях, в одном из которых жив, а в другом мертв, так и Вселенная может пребывать одновременно в нескольких состояниях. В том состоянии, где кот жив, он знает, что жив, а в том состоянии, где он мертв, он ничего не знает. Подобным образом могут существовать такие состояния Вселенной, в которых живут ученые, исследующие то, что представляется им всей Вселенной, а могут быть и другие, где Вселенная, возможно, слишком мала или проходит свою историю слишком быстро и где нет ученых, которые заметили бы, как выглядят эти состояния.

Антропные аргументы предсказывают, что для возможности образования галактик плотность темной энергии должна быть достаточно малой, но не намного меньше, чем в нашей Галактике, поскольку галактики с намного меньшей плотностью темной энергии редки. Расчеты, которые я провел в 1998 г. совместно с астрофизиками Хьюго Мартелом (Hugo Martel) и Полом Шапиро (Paul R. Shapiro) из Техасского университета в Остине, привели к выводу, что темную энергию можно будет обнаружить в ближайшее время только при условии, что она достаточно велика. Вскоре астрономы ее обнаружили.

**– Вы связываете два сообщения физиков: тех, кто занимается космологией и общей теорией относительности, и тех, кто посвятил себя физике частиц и квантовой теории. Думаете ли вы, что ваш опыт в обеих этих областях поможет их объединить?**

– Пока я не вижу направления для такого объединения. Разумеет-

ся, я очень хотел бы найти его. У меня есть некоторые идеи о возможных путях этого объединения, основанные на опыте работы в области физики элементарных частиц. Но говорить о том, имеют ли эти идеи отношение к реальному миру, еще слишком рано.

Часто полагают, что теория струн – единственная возможность избавиться от бесконечностей в квантовой теории гравитации, но есть альтернативы, основанные на квантовых теориях поля того же общего рода, который используется в Стандартной модели и который я называю асимптотической безопасностью. При больших энергиях интенсивность сил стремится к некоему конечному значению, что предохраняет их от неограниченного роста, обеспечивая «безопасность».

Долгое время эта идея выглядела бесперспективной, поскольку показать, что теории асимптотически безопасны или нет, довольно трудно. Я провел некоторые предварительные расчеты, которые, по моему мнению, обнадеживают, но дело шло с большим трудом, и я переключился на другие темы. Затем незадолго до 2000 г. тему подхватили ряд ученых в Европе. Они подтвердили асимптотическую безопасность в различных приближениях и показали, что эти теории математически определены так же хорошо, как Стандартная модель.

**– Как отличаются эти подходы от теории струн?**

– Они ей противоположны. В теории струн вы отказываетесь от стандартной квантовой теории поля и изобретаете нечто новое. Асимптотическая безопасность исходит из положения, что хорошая квантовая теория, вроде той, над которой мы работали 60 или 70 лет, – это все, что нам нужно.

Я не берусь решительно утверждать, что асимптотическая безопасность – именно тот путь, по которому следует идти. Если окажется, что истинная теория струн, я не удивлюсь. Она математически красива и вполне может быть

правильным решением. Асимптотическая безопасность – всего лишь возможность, достойная серьезного исследования.

До сих пор ни один из подходов не привел к сколько-нибудь серьезному прорыву, такому как расчет математических параметров Стандартной модели, т.е. чисел, которые модель принимает как данность без реального объяснения. Истинной проверкой будет, например, выяснение того, почему отношения масс частиц именно таковы, каковы они есть. Рассмотрение этих масс несколько напоминало изучение древних текстов вроде линейного письма А: у вас есть весь текст, но вы не знаете, о чем он.

**– Как вы находите время писать о чем-то, кроме физики?**

– Я люблю физику, и действительно не хотел бы вернуть время вспять, чтобы выбрать иной жизненный путь. Но это очень холодная и замкнутая профессия, особенно для теоретиков вроде меня, которые мало работают совместно с другими. Работа, которой я занимаюсь, никак не связана с повседневными заботами. Человеческие интересы и чувства не проникают в нее. Понять меня может лишь очень узкий круг профессионалов.

Чтобы покинуть свою башню из слоновой кости, я люблю думать о других вещах и писать о них. Кроме того, как большинство уче-

ных, я заинтересован в том, чтобы общество поддержало мою работу. А если мы не будем объяснять людям, чем мы занимаемся и что надеемся сделать, заручиться их поддержкой будет нелегко. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

- Dreams of a Final Theory. Steven Weinberg. Vintage, 1994.
- The Asymptotic Safety Scenario in Quantum Gravity. Max Niedermaier and Martin Reuter in Living Reviews in Relativity, Vol. 9, No. 5; 2006. www.livingreviews.org/lrr-2006-5
- Lake Views: This World and the Universe. Steven Weinberg. Belknap Press, 2010.
- Present at the Creation: The Story of CERN and the Large Hadron Collider. Amir D. Aczel. Crown, 2010.

**12-14 АПРЕЛЯ**  
МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО



# INNOTECH EXPO

INNOVATION TECHNOLOGY EXHIBITION

2-я Международная выставка-форум ИННОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ 2011

## ИННОВАЦИЯМ ОТ ИННОВАТОРОВ



Космос и связь



Технологии  
энергоэффективности  
и энергосбережения



Технологии  
безопасности  
жизнедеятельности



Инновации  
в экологии



Медицина,  
фармация,  
биотехнологии,  
химия



Строительные  
технологии  
и строительные  
материалы

**ОРГАНИЗАТОР**  
ООО «Иннотех-Экспо»

+7 (495) 544-66-85  
+7 (495) 544-68-71

info@innotechexpo.ru  
www.innotechexpo.ru

ПАРТНЕРЫ



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ



# КЛИМАТИЧЕСКОЕ ИНАКОМЫСЛИЕ

Почему мы не можем вежливо поговорить о климате?

Майкл Лемоник

ФОТОГРАФИЯ ГРЕГОРИ МИЛЛЕРА

Большая часть научной карьеры Джудит Карри (Judith Curry), ныне возглавляющей факультет Земли и атмосферных наук в Технологическом институте Джорджии, была посвящена изучению ураганов, динамики арктического льда и других связанных с климатом тем. Однако уже год она более известна тем, что вызывает раздражение, подчас негодование своих научных коллег. Дело в том, что Карри активно участвует в деятельности сообщества людей, относящихся скептически к теории изменения климата, – в основном путем присутствия в таких аутсайдерских блогах, как Climate Audit, Air Vent и Blackboard. Она задается вопросом: какова реакция климатологов на тех, кто высказывает свои сомнения в адрес климатологии,

при всей прочности позиций этой науки? Хотя многие из этих скептиков повторяют одни и те же давно отвергнутые претензии, находят и те, кто, по ее мнению, приводит вполне резонные соображения. Смешивая в одну кучу плохое и хорошее, исследователи-климатологи не только упускают возможность повысить уровень своих изысканий, но и демонстрируют обществу высокомерие. «Да, здесь присутствует изрядная доля чудачества, – соглашается Карри. – Однако есть и другое. Даже если скептики правы на 1% или 10%, они не зря стараются, поскольку мы действительно скованы групповым мышлением».

Наиболее острой критике с ее стороны подверглась Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Для

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Если народы и правительства собираются принимать серьезные меры по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>, начинать следует уже сегодня – любое промедление увеличит стоимость и трудоемкость таких мер.
- После случившегося «Климатгейта» и критики тех, кто вырабатывает политику, общественность сбита с толку, в особенности когда речь заходит о понятии неопределенности в климатологии. Политика в области климата замерла.
- Общественность должна понимать, что в науке неопределенность – не то же самое, что невежество; это скорее способ количественного выражения неизвестного.
- Климатологам необходимо лучше доносить до общественности суть понятия «неопределенность» и реагировать на критику аутсайдеров.





Джудит Карри обменялась резкими словами со многими своими коллегами-климатологами

большей части ученых-климатологов оценочные доклады этого учрежденного ООН органа, публикуемые каждые пять или более лет, представляют собой консенсус по вопросам климатологии. Впрочем, мало кто из исследователей стал бы говорить сегодня о совершенстве МГЭИК, тогда как Карри вообще считает, что данный орган нуждается в коренном реформировании, и обвиняет его в «коррупционности». «Я не собираюсь оправдывать МГЭИК, – заявляет она, – поскольку не чувствую, что у меня есть доверие к ее работе».

Произнесенные где-нибудь в кулуарах, на конференции или собрании, такие слова можно было бы посчитать частью продолжающегося и нередко противоречивого процесса формирования этой области науки. Но они прозвучали открыто на некоторых из сайтов, где осенью 2009 г. появилась закрытая электронная переписка, послужившая причиной «Климатгейта», а потому были восприняты многими как предательство, побудив коллег Карри наградить ее такими нелестными эпитетами, как «наивная», «ненормальная» и похуже того.

Все это создает два соперничающих сценария жизни этого человека, которые, на первый взгляд, одинаково правдоподобны. По первому из них Джудит Карри выступает в роли миротворца – того, кто призывает вернуть этот спор в рамки корректности, побудив общественность к разумным действиям. Честно признавая допущенные ошибки и убеждая своих коллег уважительно относиться к скептикам, она могла бы достичь некоего согласия.

В альтернативном варианте ей достается роль простака, который, действуя из лучших побуждений, лишь подливает масла в огонь. В этом случае борьба со скептиками теряет всякий смысл, поскольку победить их невозможно. К тому же эти скептики уже перешли все границы, познакомив со своими аргументами общественность и распространив похищенную из персонального компьютера электронную

корреспонденцию, вместо того чтобы постараться прояснить ситуацию.

Какой из двух вариантов победит, не имело бы значения, если бы этой областью науки была, допустим, космология, палеонтология или что-то, не оказывающее непосредственного воздействия на жизнь людей. Но климатология – нечто иное. Все эксперты единодушны в том, что для предотвращения природной катастрофы потребуются огромные изменения в сельском хозяйстве, энергетике и прочих отраслях.

В данной ситуации решение, какой быть общественной дискуссии, становится вопросом выживания. Если правительства собираются принимать серьезные меры по предупреждению изменения климата, начинать следует уже сегодня, поскольку любое промедление намного увеличит стоимость и трудоемкость таких мер. Однако проходившая в Копенгагене в декабре 2009 г. 15-я конференция ООН по проблеме изменения климата (COP 15) завершилась принятием итогового документа, не содержащего юридических обязательств стран по сокращению выбросов парниковых газов. После этой конференции Сенат США не смог утвердить даже скромный законопроект о квотировании и торговле, который предписывал бы сокращать такие выбросы. Случившийся год назад «Климатгейт», всесторонняя критика в адрес МГЭИК и климатологии в целом могут окончательно сбить с толку общественность, мешая ей понять, ухудшает Карри положение дел или наоборот улучшает.

### На темную сторону

История Джудит Карри началась в 2005 г. с написанной ею в соавторстве статьи для журнала Science, где увеличение числа мощных тропических циклонов связывалось с глобальным потеплением. Статья была встречена язвительными замечаниями в посвященных климату блогах скептиков. Как там утверждалось, использован-

ная в публикации статистика по ураганам имела серьезные просчеты (в особенности за период до 1970-х гг.), а также не была в достаточной мере учтена естественная изменчивость климата. «Мы знали об этих проблемах, когда писали материал, – говорит Карри, – но критики утверждали, что данные вопросы оказались намного серьезнее, чем мы предполагали».

Не всегда соглашаясь с критическими замечаниями, она тем не менее не стала отвергать их с ходу, как поступили бы многие ученые, а начала общаться с самими критиками. «Ведущий автор статьи, Питер Уэбстер (Peter J. Webster), поддерживает то, что я наладила диалог со скептиками, – указывает Карри, – и теперь у нас установились по-настоящему дружеские отношения с Крисом Ландси (Chris Landsea), с которым у нас были резкие разногласия в 2005–2006 гг., а также нам неоднократно удавалось обсудить эту тему с Пэтом Майклсом (Pat Michaels)». В процессе общения со скептиками Карри решила выступить в блоге Роджера Пилке-младшего (Roger Pielke), профессора экологических исследований Колорадского университета, нередко критикующего организацию климатологов, а также в блоге Climate Audit, который ведет статистик Стив Макинтайр (Steve McIntyre). Последний, добавляет Карри, «стал моим любимым блоггом, поскольку проходившие там обсуждения всегда были очень интересными, и я даже подумала: вот те люди, с которыми мне хотелось бы договориться, вместо того чтобы читать проповеди новообращенным на RealClimate (блог основного направления в климатологии. – Ред.)».

Именно тогда Карри начала испытывать уважение к климатическим аутсайдерам (неспециалистам) – по крайней мере к некоторым из них. И это заставило ее пересмотреть свою безоговорочную многолетнюю поддержку МГЭИК. «Я поняла, что вовлече-

на в групповое мышление», – говорит Карри, имея в виду не только эту статью о циклонах, но и в более широком смысле – свое абсолютное принятие идеи, что доклады МГЭИК содержат наиболее объективные сведения об изменении климата.

Она утверждает, что всегда доверяла способности МГЭИК собирать и синтезировать все разрозненные нити данных в этой сложной и многогранной области науки. «Я была на 95% уверена в объективности рабочей группы I», – говорит Карри, имея в виду раздел фундаментальных наук в общем докладе МГЭИК из трех частей. Хотя еще тогда у нее появлялись определенные сомнения. В тех областях, где она обладала некоторыми экспертными знаниями, например облака и морской лед, у нее возникало ощущение, что авторы недостаточно внимательны. «Дело в том, что мне довелось выступить в роли рецензента Третьего оценочного доклада МГЭИК, – вспоминает Карри, – по вопросу атмосферных аэрозолей (т.е. частиц типа пыли и сажи, влияющих на образование облаков. – Ред.). Я указала им, что у них чересчур упрощенческая позиция и что они даже не упомянули вопрос влияния аэрозолей на появление центров кристаллизации в ледяных облаках. Таким образом, речь идет не столько о выявлении каких-то допущенных ошибок, сколько о скрытом невежестве и чрезмерной самоуверенности. Меня поражает, как могли оказаться в одинаковом положении эксперты в различных областях».

Вероятно, так думали не все. Из многих сотен ученых, которые участвовали в подготовке Третьего оценочного доклада, опубликованного в 2001 г., лишь небольшая часть заявила о том, что их взгляды проигнорированы. Хотя в этом докладе, конечно же, невозможно было в полной мере отразить позицию каждого отдельно взятого ученого.

Так или иначе, когда Карри решилась выступить в блогах скептиков, вопросы, поступающие от наиболее технически продвину-

**ПОНИМАНИЕ ТРЕНДОВ**

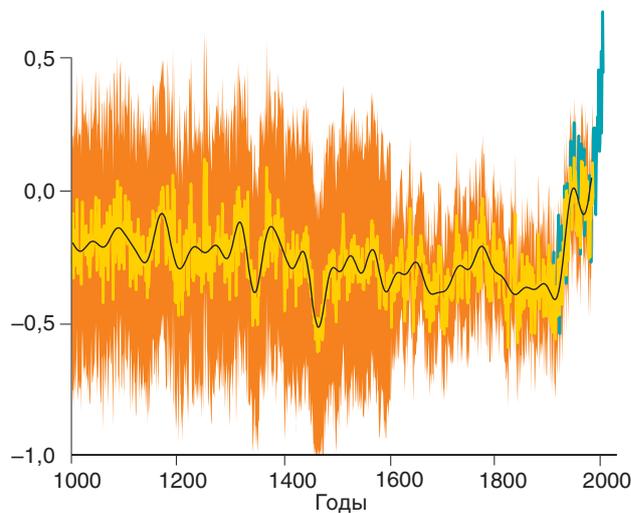
Трудность некоторых важных вопросов в климатологии объясняется тем, что ответы на них отчасти строятся на косвенных показателях или на неполных данных. Хотя ученые регулярно разъясняют степень такой неопределенности, сам факт ее существования нередко заставляет общественность усомниться в правильности результатов. Приведенные ниже график и диаграмма с двумя примерами наборов данных исключают любые сомнения на этот счет

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОШЛОГО**

Опубликованный в 2001 г. Третий оценочный доклад МГЭИК содержит температурный график планеты за последнюю тысячу лет – из-за резкого подъема температур в последние десятилетия он получил название «хоккейная клюшка». Большие пределы погрешности (оранжевый цвет) для температур далекого прошлого объясняются их вычислением по косвенным показателям (годовые кольца деревьев, кораллы, ледяные керны и др.). Желтый цвет обозначает фактические данные. Вероятность того, что действительная температура не выйдет за пределы погрешности – 95%

- Данные с термометров
- Реконструированные данные (кольца деревьев, кораллы, ледяные керны и исторические документы)
- Усредненные данные (средние за 50 лет)
- Пределы погрешности (доверительный интервал - 95%)

**ОТКЛОНЕНИЯ ОТ СРЕДНЕЙ ЗА 1961-1990 гг. ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА (° C)**



**ПРОГНОЗ БУДУЩЕГО**

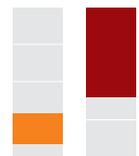
В опубликованном в 2007 г. Четвертом оценочном докладе МГЭИК приведена оценка будущего повышения уровня моря, в которой из-за отсутствия данных не был учтен фактор динамики льда. МГЭИК указала «возможные» пределы такого повышения (с вероятностью 66%). Впоследствии, на основании новых данных, ученые пересмотрели эту оценку, более чем вдвое увеличив прогнозируемый ранее уровень

**18–59**

Без учета сползания ледников (доклад МГЭИК 2007 г.)

**80–200**

С учетом сползания ледников (Пфедфер, 2008 г.)



SOURCES: THE IPCC THIRD ASSESSMENT REPORT, 2001 (temperature graph); THE IPCC THIRD ASSESSMENT REPORT, SUMMARY FOR POLICY MAKERS, 2007; «KINEMATIC CONSTRAINTS ON GLACIER CONTRIBUTIONS TO 21ST-CENTURY SEA-LEVEL RISE», BY W. T. PFEFFER ET AL., IN SCIENCE, VOL. 321, 2008 (projected sea level)

### КАК СПРАВЛЯТЬСЯ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ

Пора отказаться от фантазии, что все страны должны сначала договориться о генплане климата

**Грейнджер Морган**

Люди все время принимают решения в условиях несократимой неопределенности. На основе ограниченной и неопределенной информации мы решаем, куда пойти учиться, на какую поступить работу, на ком жениться (за кого выйти замуж), иметь ли детей. То же самое делают правительства. Они финансируют транспортную сеть, меняют регулирующую политику, осуществляют социальные программы, объявляют войну и добиваются мира, невзирая на то что не могут быть заранее уверенными в исходе.

Хотя многие тонкости климатологии неясны, мы гораздо лучше знаем о том, как отреагирует система климата на резкое увеличение содержания двуокси углерода в атмосфере, чем о существовании множества возможностей в нашей частной жизни и в политике. Деятельность человека в последние два столетия подвергла нашу планету большому риску. Если не начать немедленных действий по преобразованию нашей энергетической системы и по сокращению выбросов парниковых газов, то уже в этом веке наши дети и внуки увидят глубокие изменения в экосистемах и региональных климатах Земли, которые могут поставить под угрозу жизнь и благосостояние миллиардов людей в развивающихся странах. Ученым-климатологам, готовящим экспертные оценки, следует быть более осторожными и открытыми в своих контактах с общественностью, тогда как понятие неопределенности в этой науке не должно мешать выработке политики в области климата.

Первое, что нам надо сделать, — отбросить мысль, что до появления у каждой из стран серьезного отношения к сокращению выбросов двуокси углерода все они должны прийти к какому-то соглашению. Иначе нам не избежать отсрочки на десятилетия в решении этого вопроса. Продолжая готовить международные договоры, мы должны стараться побуждать от-



дельные страны и регионы к началу практических действий. Нам следует выработать международную стратегию объединения различных местных положений по предотвращению выбросов в атмосферу в более крупные соглашения, а также активизации отстающих в этом отношении стран и регионов — либо увещеванием, либо такими мерами, как введение высоких таможенных тарифов на импорт товаров.

Мы также должны покончить с психологией типа «мы против них». Да, развитые страны извлекли выгоду из нескольких сотен лет экономического развития на основе свободных выбросов в атмосферу парниковых газов. Но посещали ли вы в последнее время Бразилию, Китай или Индию? Все их самолеты, сотовые телефоны, автомобили и компьютеры — это также результаты того периода экономического развития. Экономически развитые страны в силу того, что они

могут себе это позволить, обязаны возглавить борьбу с вредными выбросами в атмосферу. Хотя эта ответственность не столь однозначна, как кажется многим. Миллионы состоятельных людей в развивающихся странах оставляют после себя ничуть не меньший загрязняющий след.

Наконец, нам необходимо учить людей самым основам. Во время одного исследования (отчет о нем я и мои коллеги впервые опубликовали в журнале *Risk Analysis* более 15 лет назад, а в этом году повторили публикацию) нами было обнаружено, что многие американцы не понимают разницу между словами «климат» и «погода», а большинство до сих пор не считают сгорание угля, нефти и натурального газа первопричиной изменения климата. Просвещать людей будет непросто, поскольку лоббирующие группы продолжают ежегодно расходовать миллионы долларов на охрану своих краткосрочных экономических интересов, вводя общественность в заблуждение. Именно для продления такого состояния заблуждения был недавно использован «Климатгейт».

На то, чтобы развеять вызванные лоббистами сомнения относительно связи между курением сигарет и заболеваемостью раком, потребовались в свое время десятилетия. Если не принять срочные меры по резкому сокращению выбросов в атмосферу двуокси углерода, уже через несколько десятилетий мы можем оказаться на пороге глобальной катастрофы. Такая опасность вполне реальна, и обстоятельства складываются не в нашу пользу.

---

**Грейнджер Морган** (M. Granger Morgan) — руководитель факультета инженерной и государственной политики Университета Карнеги — Меллона, а также директор Центра принятия решений по климату.

тых аутсайдеров (статистиков, инженеров-механиков, специалистов по компьютерному моделированию), помогли ей утвердиться в своих сомнениях. «Не буду утверждать, что научные сведения МГЭИК были ошибочны, но я не меняла свою точку зрения», – пояснила она в интервью, размещенном в климатическом блоге Collide-a-Scare.

Джудит Карри начала искать другие случаи, где, по ее мнению, МГЭИК всевозможными путями мешают науке. Например, как она вспоминает, «старший руководитель одного крупного института по моделированию климата сказал мне, что примерно 80% своего времени специалисты затрачивают на технические процедуры МГЭИК и лишь 20% – непосредственно на совершенствование климатических моделей». По ее утверждению, МГЭИК нарушала свои собственные правила, принимая научные статьи без экспертной оценки и назначая на высокие должности непроверенных ученых, которые верили в «легенду» этой группы о надвигающемся бедствии.

Климатические скептики ухватились за заявления Карри, чтобы подвергнуть сомнению положения фундаментальной науки об изменении климата. Важно подчеркнуть, что ее опыт не дает никаких оснований усомниться в самой науке. Джудит Карри по-прежнему не сомневается в том, что наша планета нагревается, и в этом в значительной степени виноваты парниковые газы, включая двуокись углерода, а наиболее неблагоприятный вариант развития событий может предполагать катастрофу. Она не верит в то, что электронная корреспонденция «Климатгейта» – свидетельство мошенничества или какого-то грандиозного международного заговора. Но Карри убеждена, что научное сообщество основного направления климатологии не только оторвалось от жизни, но и выработало своеобразную психологию крепости: свои не могут совершать ошибок, а для аутсайдеров вход закрыт.

### Неопределенность и наука

Джудит Карри – не единственная, кто критикует МГЭИК и конкретных климатологов. После «Климатгейта», ошибочных сведений о таянии ледников в докладе МГЭИК и обвинений в конфликте интересов в адрес председателя МГЭИК Раджендры Пачаури (Rajendra K. Pachauri) свое расследование деятельности МГЭИК начали различные организации – от ООН и правительства Великобритании до отдельных университетов по обе стороны Атлантики. Доказательств научного мошенничества не удалось найти никому, включая Межакадемический совет (МАС) – сеть национальных академий наук США и их партнеров по всему миру. Хотя МАС не обнаружил крупных ошибок или искажений, в его докладе было отмечено, что методики МГЭИК отстали от времени, а сам этот орган в некоторых случаях не смог строго соблюдать свои же собственные стандарты.

Если отбросить эмоции, главный беспокоящий Карри вопрос сводится, по существу, к такой ключевой проблеме, как превращение климатологии в конкретную политику в области климата. Широкая общественность желает знать, действительно ли происходит глобальное потепление, каковы его степень и темпы, какими будут его последствия. Однако ответы на эти вопросы, предлагаемые учеными в их научных статьях и на конференциях, даются на некоем невнятном языке доверительных интервалов и вероятностей. Из-за политической подоплеку этого вопроса в диалоге с общественностью некоторые ученые с неохотой употребляют слово «неопределенность». Вероятно, они опасаются, что люди, подобные сенатору штата Оклахома Джеймсу Инхофу (James Inhofe), говорившему о «величайшем в истории обмане американского народа», и другие политически мотивированные скептики продолжат использовать это слово как грубый довод против климатологии

в целом – т.е. если ученые не знают всего, они не знают ничего.

Неопределенность содержится и в данных о климате прошлого, и в моделях прогнозирования климата будущего. Джудит Карри заявляет, что исследователи не смогли по-настоящему разобраться с неопределенностью в своих расчетах и даже не знают точно, что следует считать основной величиной в климатологии. Речь идет об изменении климата под действием двуокиси углерода – о степени потепления, которое могло бы быть вызвано удвоением количества  $\text{CO}_2$  в атмосфере, без усиливающего или уменьшающего эффекта от таяния льда, водяного пара и любого из более чем десятка других факторов.

Как она указывает, все еще более усложняется, когда при прогнозировании температуры в следующем столетии вы пытаетесь принимать в расчет обратные связи, которые также полны неопределенностей: «Существует масса неизвестных, которые мы даже не умеем выражать количественно, но которые должны быть включены в наш доверительный интервал». В качестве примера Карри приводит график «хоккейная клюшка», показывающий, что сегодня на нашей планете самые высокие температуры за последние сотни лет. Если вы утверждаете, что этот год или это десятилетие – самые жаркие в истории, посмотрите, какие в действительности были температуры на Земле в различные времена. Карри, как и многие климатические скептики, вовсе не считает «рукоять» этой «клюшки» столь горизонтальной, какой она видится научному сообществу.

Многим климатологам подобные претензии кажутся необоснованными. Они говорят, что МГЭИК никогда не скрывала существование неопределенностей – во всех ее докладах прямо указывались области, где ученые были некомпетентны. С научной точки зрения было бы безответственным давать точные ответы на вопросы наподобие:

### Неопределенность обоюдоостра: если наука не определилась по какому-либо вопросу, то это может с равной вероятностью обозначать, что положение намного благополучнее прогноза, или же что все может сложиться гораздо хуже

«Насколько потеплеет?» или «Как поднимется уровень моря?» Вместо этого эксперты указывают диапазоны, доверительные интервалы и пр. Кроме того, некоторые ученые расходятся с Карри в вопросе о том, в какой степени скажутся эти неопределенности на окончательном расчете. Да, в климатологии нельзя с абсолютной точностью назвать основную базисную величину – утверждал профессор Стэнфордского университета Стивен Шнайдер (Stephen H. Schneider). Однако неопределенность этой случайной величины составляет лишь несколько процентов, что явно недостаточно для значительного отклонения от прогнозируемых значений. Влияние других эффектов (например, будут облака ускорять или замедлять потепление) гораздо менее определено, хотя ученые, подобные Шнайдеру, указывают на то, что отсутствие точности предполагалось самой МГЭИК. (Десятилетие назад именно Шнайдер убеждал МГЭИК систематизировать обсуждение неопределенности.) Исходя из этого критикующие Джудит Карри считают, что ее обвинения попросту

вводят в заблуждение. «В последнее время мы видели немало соломанных пугал от Джудит, – заметил Шнайдер. – Честно говоря, неприятно наблюдать, как хороший ученый начинает небрежно мыслить. У меня нет этому объяснения».

Впрочем, небрежно не означает односторонне. Несмотря на то что члены группы МАС в целом выразили уважение к деятельности МГЭИК, они привели примеры обращения этой группы с неопределенностью. «Мы очень внимательно изучили вопрос о том, как они сообщают об уровне неопределенности тем, кто вырабатывает политику, – рассказал Харолд Шапиро (Harold Shapiro), бывший президент Принстонского университета и руководитель группы МАС. – Мы обнаружили, что в некоторых их утверждениях присутствовала высокая степень уверенности в результате, хотя было очень мало доказательств, а иногда предлагались такие аргументы, что их нельзя было опровергнуть». Как следует заметить, непроверяемое утверждение обычно не считается научным.

Однако по меньшей мере в одном Карри совпадает во мнениях со своими коллегами. Общественность должна понимать, что в науке неопределенность – не то же самое, что невежество; это скорее способ количественного выражения неизвестного. Карри стремится начать разговор по одному из наиболее важных и трудных вопросов политики в области климата: степень, до которой наука может раскрывать нечто действительно существующее, несмотря на недостаток знаний. «Если мы не будем владеть языком теории вероятности и распределения вероятностей, – считает Крис Форест (Chris E. Forest), статистик Университета штата Пенсильвания, – нам придется оперировать такими понятиями, как шанс, числа в игре в кости, колесо рулетки». А поскольку климат – вещь сложная, добавляет он, за терминами «вероятно» и «очень вероятно» в докладах МГЭИК стоит множество одновременно работающих и взаи-

модействующих друг с другом шансов, чисел и колес. Когда ученые переводят статистический жаргон на понятный язык, они неизбежно чрезмерно упрощают его, создавая эффект затушевывания нюансов. Общественность получает в результате карикатурный вариант климатических теорий, которые с легкостью опровергаются.

Главный для общественности урок: неопределенность обоюдоостра. Если наука не определилась, это значит, что положение вещей может быть намного благополучнее прогнозируемых значений. То же самое означает, что все может сложиться намного хуже. В качестве примера такого случая можно привести прогноз величины подъема уровня моря. Гляциологам трудно оценить, с какой скоростью по мере повышения температуры должен таять толстый ледяной покров Гренландии и Антарктиды и в какой мере это дополнительное количество воды могло бы поднять уровень моря. Однако потепление климата может также влиять на скорость сползания в море ледников, которые превращаются в айсберги, вносящие свой вклад в повышение уровня моря. Предсказать величину этого последнего эффекта труднее. Фактически, описывает ситуацию Карри, «мы не знаем, как выразить его количественно, а потому даже не включаем в наши модели. Однако эффект налицо, и мы знаем, что он, вероятно, оказывает свое воздействие».

Вместо утаивания проблемы неопределенности с таянием ледяного покрова, как можно было бы предположить, исходя из критического замечания Карри, МГЭИК рассмотрела этот вопрос в своем Четвертом оценочном докладе 2007 г. Там, в частности, прогнозировался подъем уровня моря к концу нынешнего столетия на 18–59 см, но при этом исключалась возможность роста сползания в море ледников. В докладе пояснялось, что, несмотря на вероятность увеличения размеров такого сползания, в данный момент отсутству-

ет информация для оценки возможных масштабов этого явления. Со времени публикации доклада новые исследования в значительной степени прояснили возможную будущую динамику льда (хотя сами исследователи предупреждают о сохранении значительной неопределенности в прогнозах). Как выясняется сегодня, первоначальные прогнозы на этот счет были, вероятно, чересчур оптимистичны.

То же самое можно сказать в отношении других климатических перспектив. «Вероятный худший сценарий будущего может оказаться печальнее наших предположений», – предупреждает Джудит Карри. Повышение температуры от удвоения количества CO<sub>2</sub> в атмосфере «может составить 1° С. А может – и все 10° С. Но забудем сейчас об этом и займемся разработкой политики для всех возможных сценариев с расчетом затрат и результатов по каждому из них. Тогда мы начнем делать какие-то действительно разумные вещи».

## Нанесение вреда

Сомневаться не приходится: Джудит Карри произвела сенсацию. Сегодня ее часто цитируют некоторые наиболее убежденные скептики, включая Марка Морано (Mark Morano), прежнего помощника сенатора Инхофа и создателя блога соответствующей направленности Climate Depot. И дело не ограничивается скептиками: в своем блоге Dot Earth с Карри не раз с большим уважением общался корреспондент-эколог газеты New York Times Эндрю Ревкин (Andrew C. Revkin). Такой же контакт установился у нее с Китом Клором (Keith Kloof), который ведет воинственно беспристрастный блог Collide-a-Scare.

Подобная известность беспокоит ученых, поскольку означает, что Карри способна нанести вред консенсусу по изменению климата, создававшемуся в течение последних 20 лет. Они не видят смысла стараться переубеждать скептиков, даже если это можно сделать. Гэвин Шмидт (Gavin A. Schmidt),

климатолог Института космических исследований им. Годдарда NASA (Нью-Йорк) и владелец блога RealClimate, говорит по этому поводу: «Наука – это не политическая кампания. Мы не стараемся быть для всех друзьями».

По мнению Джудит Карри, вред исходит не от критических замечаний скептиков, большей частью сомнительных, а от реакции на них научного сообщества – в значительной степени так же, как смерть больных гриппом наступает не от самого вируса, а от чрезмерно острой реакции на него иммунной системы организма. Карри отмечает, что испытала это на себе, встретившись с презрительным отношением со стороны коллег за ее усилия (добавляя к этому, что она нисколько не ущемлена профессионально и продолжает публиковаться). «Сообщество климатологов подвергло ее беспощадной критике, – указывает Макинтайр, – за неисполнение "фетвы" (фетва – в мусульманских странах решение высшего религиозного авторитета (муфтия); иначе говоря, за обсуждение проблемы с аутсайдерами. – Ред.)».

С этим согласны некоторые незаинтересованные комментаторы. Один из них – Александр Хаслам (S. Alexander Haslam), эксперт по психологии организации производства из Эксетерского университета в Великобритании. По его словам, у сообщества климатологов – классический синдром «черной овцы»: членам такой группы может досаждать общественная критика в лице неспециалистов, но самый сильный свой гнев они направляют на коллег, встающих на сторону таких неспециалистов. Относясь к Карри как к изгою, ученые лишь укрепляют ее репутацию своеобразного бунтаря, который говорит власти правду. Даже если Карри глубоко заблуждается, не в интересах климатологов относиться к ней как к источнику раздора. «Думаю, что ее критика наносит вред, – подводит итог Хаслам. – Хотя это всего лишь последствие неспособности при-

знать существование в науке подобной политической динамики».

В каком-то смысле оба эти соперничающие сценария жизни Джудит Карри – роль миротворца и роль простака – оказываются правдой. Под влиянием развернувшейся политической мотивированной «охоты на ведьм» климатологи чувствуют себя в состоянии боевой готовности. В столь напряженной обстановке любые действия Карри, естественно, воспринимаются как предательство – в особенности по той причине, что скептики ухватились за ее позицию, считая это доказательством полной их правоты. Однако и у Карри, и у скептиков имеется свой повод для недовольства. Они чувствуют, что их всех вместе считают ненормальными, как бы ни были убедительны их аргументы. Вся эта история стала политической авантюрой – то, что могло бы быть обычным обсуждением специалистами тонкостей получения информации, использования методики и подготовки выводов, превратилось в скандал. Вероятно, едва ли следует ожидать, что взаимные нападки внезапно прекратятся, однако, с учетом высоких ставок, сегодня важно сосредоточиться на науке, а не на шуме вокруг нее. ■

Перевод: А.Н. Божко



## ОБ АВТОРЕ

**Майкл Лемоник** (Michael D. Lemonick) – научный обозреватель независимого некоммерческого научного центра по изменению климата Climate Central. В течение 21 года сотрудничал в качестве научного журналиста с Time.

# УПОВАЕМ НА НАУКУ

Судя по веб-опросу наших читателей, люди с высшим образованием по-прежнему доверяют экспертам, но с незначительными оговорками

Год выдался для ученых суровым. Утечка данных закрытой электронной переписки и последовавший за этим «Климатгейт» показали предвзятость климатологов. Мягкость эпидемии гриппа H1N1 стала поводом для обвинения медицинских чиновников в преувеличении опасности заражения, чтобы помочь фармацевтическим компаниям продать больше лекарств. А исследователи Гарвардского университета обнаружили вопиющие просчеты

в материалах некоего знаменитого профессора. Сейчас, когда приближается момент принятия стратегических решений по климату, энергетике, здравоохранению и технике, важно спросить: в какой мере недавние события поколебали веру людей в науку? Доверяет ли еще общество ученым? Чтобы прояснить ситуацию, Scientific American, действуя совместно с родственным международным научным журналом Nature, провел интернет-опрос читателей.

Участие в нем приняли более 21 тыс. человек, откликнувшись через сайты Nature, Scientific American и соответствующих международных изданий. Как и ожидалось, участниками опроса стали понимающие люди с высшим образованием: 19% из них указали, что имеют ученую степень доктора. Их мнения в конкретных областях (климат, эволюция, техника и пр.) существенно расходились и зависели от места проживания респондентов – в США, Европе или Азии. ■

Перевод: А.Н. Божко

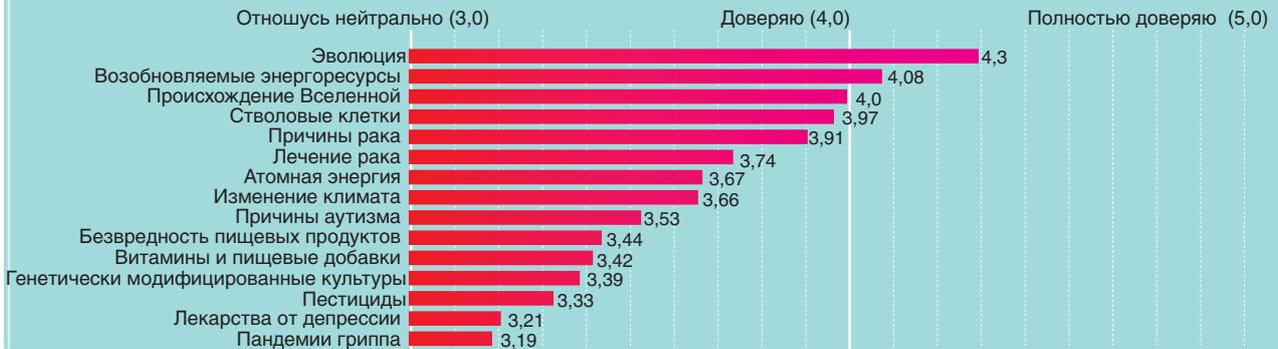
## Насколько люди доверяют тому, что говорят ученые?

Мы попросили респондентов указать, в какой мере они доверяют различным группам людей в диапазоне шкалы от 1 («абсолютно не доверяю») до 5 («полностью доверяю»). На первое место с большим отрывом вышли ученые. Когда мы спросили, насколько респонденты доверяют словам ученых о последовательно перечисляемых областях знаний, лишь три из этих областей (включая, как ни удивительно, эволюцию) получили больший вотум доверия, чем в целом сами ученые

Кто, по-вашему, предоставляет обычно точную информацию о важных событиях в обществе?



Насколько вы доверяете тому, что говорят ученые о следующих областях?



## Когда наука встречается с политикой: пример трех стран

Должны ли ученые заниматься политикой? Читатели сильно расходятся в мнениях на этот счет в зависимости от того, из какой они страны. Жители Германии, чей главный политик имеет докторскую степень по квантовой химии, похоже, одобряют ученых, играющих важную роль в политике. Исключение составляет Китай. Хотя большинство его лидеров – инженеры, китайские респонденты гораздо менее, чем читатели из Германии или США, хотели бы видеть ученых в политической жизни

### Респонденты, согласные со следующими утверждениями

- Ученые должны говорить лишь о позиции науки, избегая какой-либо пропаганды
- Ученые должны оставаться вне политики
- Ученые лучше знают, что хорошо для людей
- Ученые должны учитывать желания людей, даже если те, по их мнению, ошибаются или не понимают их работу



## Создавать лаборатории, а не оружие

Более 70% респондентов согласились с тем, что в трудные экономические времена следует сохранить финансирование науки. Отвечая на вопрос, что вместо этого следует урезать, подавляющее большинство назвало расходы на оборону



Если бы финансирование науки было сохранено, расходы на что вместо этого следовало бы урезать?

## Стоит ли финансировать науку?

### Респонденты, согласные со следующими утверждениями:

- Инвестиции в фундаментальную науку могут не принести экономике немедленной отдачи, однако они закладывают основу будущего роста (89%)
- Инвестиции в фундаментальную науку - один из лучших способов стимулирования экономики и создания рабочих мест (72%)
- Наука не обязательно ведет к экономическому росту, и обычно ее следует поддерживать по другим причинам (47%)



# ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ОПРОС

## Технострахи

Развитие техники может приводить к неожиданным результатам. Мы спросили читателей, какие технические достижения следует сдерживать – или по меньшей мере строго контролировать. Удивительно, но большее число респондентов беспокоила атомная энергия, а не искусственная жизнь, стволовые клетки или ГМ-культуры

47%



От атомной энергии следует отказаться, заменив ее другими видами экологически чистой энергии

26%



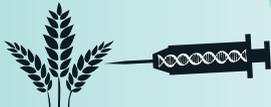
Правительство должно немедленно принять меры по защите людей от неизвестных рисков нанотехнологии

23%



Я против научных исследований с использованием обезьян шимпанзе

22%



Поскольку ГМ-культуры чреваты недопустимым риском для окружающей среды и здоровья людей, надо перестать их выращивать

12%



Я против научных исследований с использованием млекопитающих, не относящихся к приматам

8%



Я против научных исследований с использованием эмбрионов

7%



Следует прекратить научные исследования с использованием искусственных организмов, пока безопасность этого не будет доказана

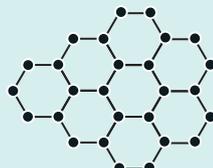
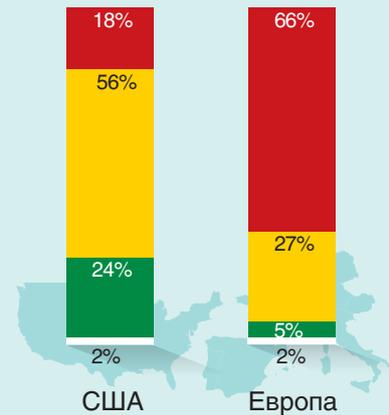
## США в сравнении с Европой

Европейцы и американцы резко расходятся в своем отношении к технике. В Европе большие, чем в США, доли респондентов беспокоятся по поводу атомной энергии и ГМ-культур. (В этом случае мнение европейцев представляют Бельгия, Франция, Германия, Италия и Испания; исключение составляет Великобритания, где настроения более тесно увязаны с позицией США.) И в Европе, и в США нанотехнология выступает, похоже, в роли «великого неизвестного». Европейцы к тому же с недоверием относятся к словам ученых о пандемиях гриппа



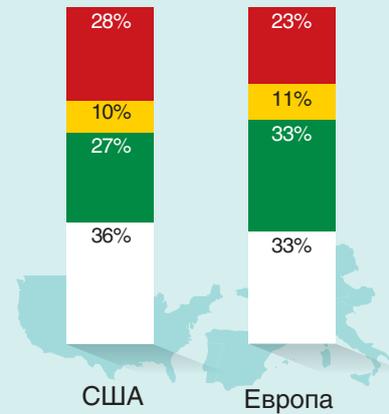
Насколько спокойно вы относитесь к риску, связанному с атомной энергией?

- С беспокойством
- Довольно спокойно
- Абсолютно спокойно
- Не знаю



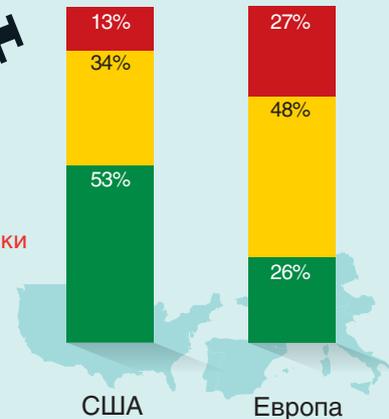
Насколько спокойно вы относитесь к риску, связанному с нанотехнологией?

- С беспокойством
- Довольно спокойно
- Абсолютно спокойно
- Не знаю

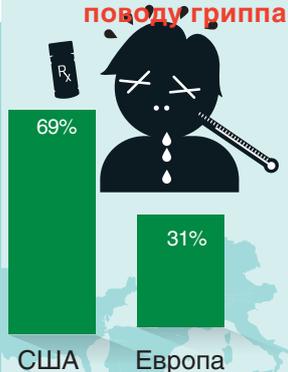


Насколько спокойно вы относитесь к риску, связанному с генетически модифицированными культурами?

- С беспокойством
- Довольно спокойно
- Абсолютно спокойно
- Не знаю



## Подозрения по поводу гриппа



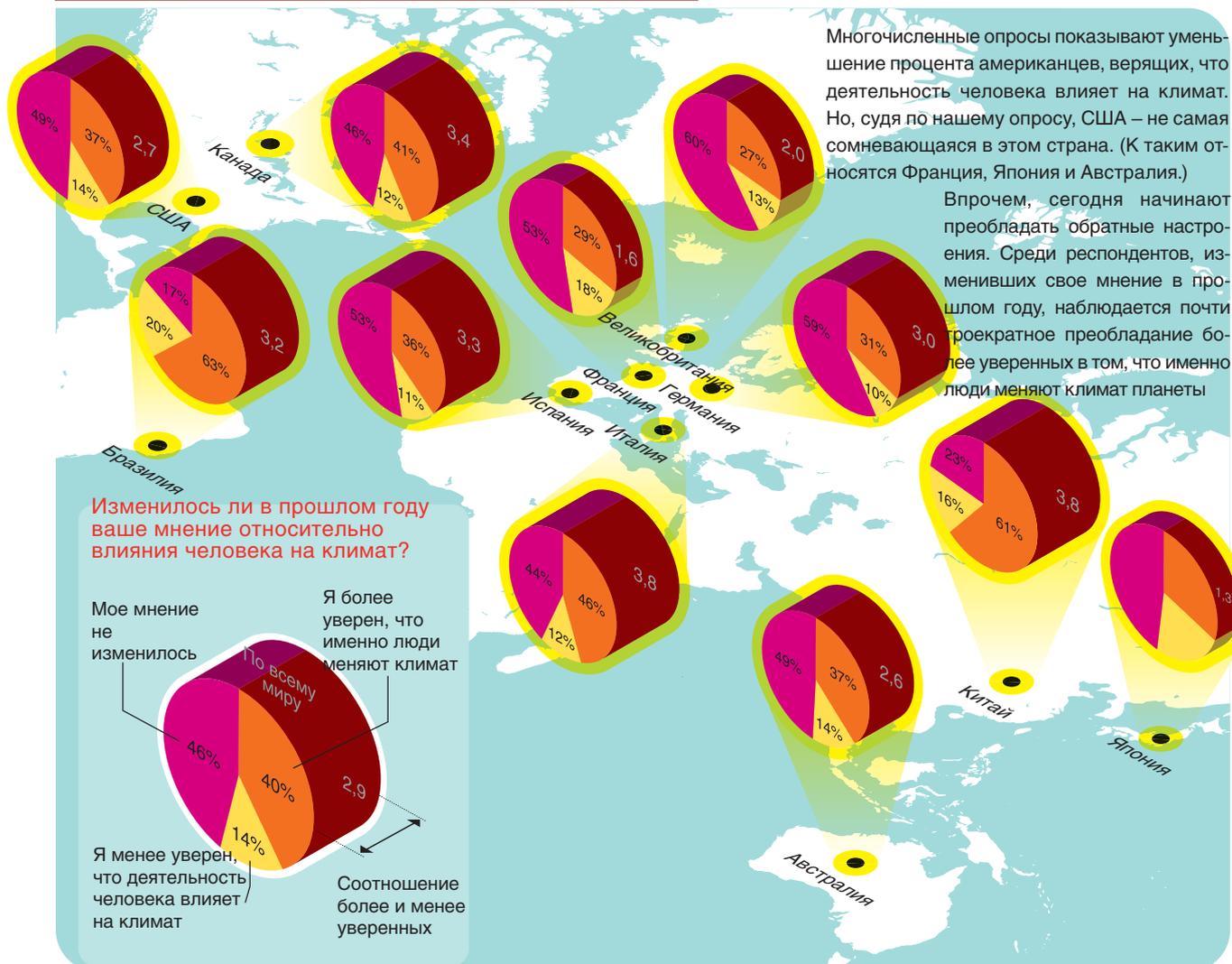
Респонденты, верящие словам ученых о пандемиях гриппа

11 июня 2009 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), штаб-квартира которой находится в Женеве, объявила о пандемии гриппа H1N1, подтвердив уже известное вирусологам – что вирус этого гриппа успел распространиться по всему миру. Правительства запросили миллиарды долларов на закупку вакцин и антиретровирусных средств; весь этот лекарственный арсенал был готов к борьбе с новой вирусной инфекцией, которая, к счастью, оказалась легкой.

Год спустя два проведенных в Европе исследования обвинили ВОЗ в том, что в основе принимаемых ею решений лежит конфликт интересов. Еще в 2004 г. комитет ВОЗ рекомендовал правительствам создавать во время пандемий запас антиретровирусных препаратов, а позднее обнаружилось, что ученые из этого комитета имели связи с фармацевтическими компаниями. Теперь ВОЗ отказалась назвать ученых, которые входили в прошлом году в комитет, рекомендовавший объявить пандемию гриппа, и это вызвало подозрения, что они также могли быть связаны с фармацевтическим бизнесом. Разногласия по этому поводу активно обсуждались в европейской прессе. Британский таблоид The Daily Mail писал: «Пандемия, которой не было: фармацевтические компании побудили международный медицинский орган преувеличить опасность свиного гриппа». А в США данная тема вообще мало упоминалась.

В Европе эта шумиха всколыхнула общественное мнение. Если, судя по нашему опросу, в США словам ученых о пандемиях гриппа верят почти 70% респондентов, то в Европе этот показатель сокращается до 31%. Приведенные цифры отражают огромное расхождение между США и Европой по каждой из областей, затрагиваемых в опросе

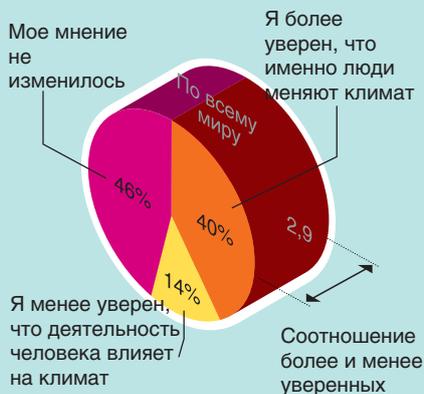
## Все меньше отрицающих изменение климата



Многочисленные опросы показывают уменьшение процента американцев, верящих, что деятельность человека влияет на климат. Но, судя по нашему опросу, США – не самая сомневающаяся в этом страна. (К таким относятся Франция, Япония и Австралия.)

Впрочем, сегодня начинают преобладать обратные настроения. Среди респондентов, изменивших свое мнение в прошлом году, наблюдается почти трехкратное преобладание более уверенных в том, что именно люди меняют климат планеты

### Изменилось ли в прошлом году ваше мнение относительно влияния человека на климат?



## ОБ АВТОРАХ

**Фьоренцо Оменетто** (Fiorenzo Omenetto) и **Дэвид Каплан** (David Kaplan) – профессора биомедицинской техники в Университете Тафта. Работая вместе, они начали использовать шелк как высокотехнологичный материал около четырех лет назад.



# ОТ ШЕЛКОВОГО КОКОНА К ЧУДЕСАМ МЕДИЦИНЫ

Из нитей, сплетенных гусеницами, ученые создают искусственные артерии, связки, а также микросхемы и голограммы

## Дэвид Каплан и Фьоренцо Оменетто

Тысячелетиями торговцы возили ткани из шелка по Великому шелковому пути из Китая в Европу, где красивый и прочный материал превращался в прекрасные наряды. Сегодня биоинженеры используют спряденные гусеницами шелкопряда натуральные протеиновые волокна, комбинируя их с ферментами и полупроводниками. Технологи модифицируют шелковые нити, изменяя температуру и добавляя кислоты, скручивают и нарезают их особым образом. В результате получаются новые материалы, которые обладают необычными свойствами.

Врачи любят шелк из-за его прочности и совместимости с тканями человека, благодаря чему иммунная система не отторгает его. Недавно наша лаборатория в Университете Тафта расширила список уникальных материалов, создав из шелковых нитей тонкие трубки, которыми можно заменять участки закупоренных тромбами сосудов, что позволит при коронарном шунтировании восстановить кровоток, не изымая вены из нижних конечностей пациентов. Джеймс Го (James Goh) с коллегами из Национального университета Сингапура восстановил переднюю крестообразную связку в коленном суставе живой свиньи, используя стволовые клетки, имплантированные в шелковый каркас.

Помимо прочего, биологическая совместимость дает возможность ученым создавать разнообразные датчики. Инженеры в Университете Тафта и по всему миру стремятся получить новые материалы для электроники и фотонные материалы, нанося металлические или иные тонкие пленки на шелковую поверхность. В один прекрасный день врачи научатся внедрять подобные пленки глубоко в мозг, выливая эпилепсию или повреждения спинного мозга. Уже получены положительные результаты в опытах на животных: шелковые имплантаты продемонстрировали эффективность, обеспечив медленное высвобождение препарата, позволяющего контролировать судорожные припадки. Кроме того, уже сейчас ученые предвидят появление вживляемых датчиков, с помощью которых можно будет следить за поступлением питательных веществ, доз препаратов или определенных клеток в кровь или ткань, одновременно создавая голографическое изображение и передавая информацию по шелковым нитям.

Возможна и разработка таких устройств, которые в конце срока своей службы будут распалиться, из-за чего их не придется удалять хирургически. Варьируя размер и структуру кристаллов белка (которая придает шелковой ткани особый мерцающий блеск), мы можем «запрограммировать» шелковые волокна так, чтобы по истечении определенного промежутка времени они растворялись.

Оказываются перспективными также и генетические исследования. В сентябре прошлого года компания Kraig Biocraft Laboratories Inc. из города Лансинг, штат Мичиган, объявила о создании генетически модифицированной гусеницы, производящей более прочную на разрыв паутину, сходную с нитью пауков, которая может послужить материалом для создания прочных искусственных связок или более массивных предметов вроде бронжилета. ■

Перевод: Т.А. Митина



CARY WOLINSKY Aurora Images (cocoon)

Wolfgang Kaehler Corbis (silk thread); courtesy of Fiorenzo Omenetto (artery, sponges, suture); David Kaplan Biocraft Laboratories (cocoon); Fiorenzo Omenetto (silk thread); David Kaplan Biocraft Laboratories (cocoon)

# : ТЕХНОЛОГИЯ



Нить для изготовления шелковой ткани получают скручиванием нескольких отдельных паутинок

Искусственные кровеносные сосуды, сделанные из упроченного волокна, могут вживляться вместо поврежденных участков забитых тромбами артерий и вен

Окрашивание и сплетение в ткань

Покрывание воском или удаление белка-серицина и сплетение в ткань

Вываривание и экстракция волокон белка

Вываривание и разматывание

Добавление белков, ферментов, антител, красителей, полупроводников или металлов; изменение свойств благодаря воздействию температуры, pH, рассеяния, электрического поля или растворителя

Шелковые губки могут использоваться в качестве имплантированных каркасов, в которые помещаются стволовые клетки, призванные восстановить отсутствующую ткань или участок кости

Тонкие пленки могут содержать кремниевые микросхемы и голограммы или дифракционные решетки (в центре, красный квадрат), которые будут находиться под кожей и менять свой цвет по мере изменения уровня кислорода в крови

Волокна могут быть преобразованы из раствора шелка в оптические волноводы (U-образная нить), которые будут пропускать свет внутрь тела или наружу

Гибкие электроды, отпечатанные на шелковом субстрате, могут проникать в извилины коры головного мозга кошки и реагировать на ее электрические сигналы

Wolfgang Kaehler, Corbis (silk thread), courtesy of Filozozo Omestito, (artery sponges, this film, fiber optics), From Dissolvable Films of Silk Fibroin for Ultrathin, Conformal, Bio-Integrated Electronics, by Dae-Hyeon Kim et al., In Nature Materials, vol. 9, June 2010 (Britain)



#### ОБ АВТОРЕ

**Карл Диссерот** (Karl Deisseroth) – сотрудник факультетов биоинженерии и психиатрии Стэнфордского университета, лауреат Международной премии Накасонэ за исследования в области бактериальных опсинов и оптогенетики.

# УПРАВЛЕНИЕ МОЗГОМ С ПОМОЩЬЮ СВЕТА

С помощью методики, называемой оптогенетикой, раскрываются новые возможности исследования функции мозга, а полученные данные могут послужить основой для разработки современных методов лечения психических расстройств

Карл Диссерот

**Б**удучи практическим психиатром, я ежедневно сталкиваюсь с ограничениями в моей сфере деятельности. Несмотря на самоотверженный труд врачей и исследователей, недостаток знаний в области причин психических расстройств тормозит разработку способов лечения и еще больше укрепляет несправедливое отношение общества к больным. Между тем душевные заболевания – одна из ведущих причин инвалидности и смертности во всем мире, и многие вопросы в психиатрии требуют срочных ответов. Однако, как говорил знаменитый философ науки Карл Поппер, перед тем как искать ответы, надо иметь возможность ставить новые вопросы. Иными словами, необходимы новые методы исследования.

Разработка таких методов непроста, т.к. ничто не может сравниться в сложности с мозгом млекопитающих. В нем десятки миллиардов взаимосвязанных нервных клеток, каждая из которых обладает множеством уникальных свойств и контактов. Клетки постоянно и с поразительной точностью обмениваются электрическими импульсами длительностью в тысячную долю секунды и различными хими-

ческими сигналами. В связи с такой невероятной сложностью мозга мы плохо знаем, как конкретно он работает – т.е. как активность отдельных его участков и клеток порождает мысли, воспоминания, ощущения и чувства. Соответственно, и вопрос о мозговых нарушениях при таких психических расстройствах, как депрессия и шизофрения, остается без ответа. Господствующая концепция психических расстройств как результата нарушений химических процессов и уровней нейромедиаторов входит в противоречие с деятельностью мозга по высокоскоростной передаче и обработке электри-

ческих сигналов. Потому и лечение таких заболеваний остается во многом случайным: оно нередко помогает, но ничего не объясняет.

Неудивительно, что в опубликованной в 1979 г. в Scientific American статье лауреата Нобелевской премии Фрэнсиса Крика (Francis Crick) прозвучала мысль о том, что одна из основных задач нейронаук – получить методы управления активностью отдельных нейронов, не затрагивающие функционирование других. Электростимуляция таким критериям не отвечает: электроды – слишком грубый инструмент, вызывающий активацию всех нейронов без раз-

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В течение длительного времени нейрофизиологи остро ощущали нехватку методов подробного исследования функций мозга. Решение неожиданно пришло из генетических работ по изучению опсинов – светочувствительных белков, имеющих жизненно важное значение для микроорганизмов.
- Путем внедрения генов опсинов в нейроны мозга исследователи получили возможность активировать эти нейроны с помощью вспышек света. Данная методика, называемая оптогенетикой, позволяет с исключительной точностью исследовать функцию определенных нейронов головного мозга животных в свободном поведении. Такая точность была недостижима с помощью прежних методов – в частности, электростимуляции.
- Несмотря на то что оптогенетика только зарождается, с ее помощью уже получены важные данные о механизмах некоторых психических расстройств.

## Возможность управлять нужными событиями в нужных нейронах и в нужное время – важнейшее преимущество оптогенетики для нейрофизиологии

бора в области введения и не позволяющий избирательно включать или выключать только необходимые нервные клетки. В дальнейшем в своих лекциях Крик высказывал мысль о том, что таким избирательным инструментом мог бы быть свет – его можно подавать в строго определенное время и место, и луч может иметь определенный цвет. Однако тогда никто не представлял себе, как именно можно активировать отдельные нейроны с помощью света.

Тем временем своим чередом шли работы в области, казалось бы, бесконечно далекой от нейронаук – микробиологии. Уже более сорока лет ученым известно, что у некоторых микробов имеются так называемые опсины – белки, активация которых лучами видимого света приводит к изменению тока ионов через мембрану. Эти белки, кодируемые сходными генами, служат для микроба посредниками в получении от окружающей среды как энергии, так и информации. В 1971 г. Вальтер Стокениус (Walther Stoeckenius) и Дитер Остерхельт (Dieter Oesterhelt) из Калифорнийского университета в Сан-Франциско обнаружили, что один из таких белков, а именно бактериородопсин, работает как мономолекулярный ионный насос, активируемый

фотонами зеленого света. В дальнейшем были обнаружены другие сходные белки: в 1977 г. – галородопсины, а в 2002 г. – каналородопсины. Каждый из них кодируется одним геном и полностью обеспечивает преобразование света в транспорт ионов через мембрану.

Сегодня мы понимаем, что решение поставленной Криком задачи, позволяющее сделать резкий скачок в исследовании мозга, было доступно еще до того, как сама задача была сформулирована. Однако понадобилось более 30 лет, чтобы достижения и идеи из разных научных областей объединились и дали начало новой технологии, называемой оптогенетикой.

Как следует из названия, оптогенетика представляет собой синтез оптики и генетики. Она позволяет контролировать активность отдельных клеток живой ткани, причем не обязательно нервной. Методы оптогенетики включают выявление и внедрение в клетки генов светочувствительности, подведение света к мозговым структурам, прицельное действие световых лучей на конкретные нейроны и белки, а также оценку реакции на это действие. Особенно привлекает нейрофизиологов возможность управлять определенными процессами в определенных нейронах и в конкретные моменты времени с точностью, не только ранее невозможной, но и, видимо, необходимой для понимания функционирования мозга.

Роль тех или иных процессов, происходящих в клетке, можно понять только в контексте ее взаимодействия с другими клетками, организмом в целом, а иногда даже и окружающей средой. Так, сдвиг времени возникновения в нейроне разряда всего на несколько миллисекунд может полностью изменить его эффект на другие отделы нервной системы. Сегодня тысячи исследователей применяют методы оптогенетики для изучения того, как специфические формы активности конкретных нейронов запускают сложные виды поведения у червей, мух, рыб, мышей, крыс

и обезьян. Работы уже дали новые результаты, помогающие понять такие заболевания человека, как депрессия, нарушения сна, болезнь Паркинсона и шизофрения.

### Проливая свет на тайны жизни

Биологи уже давно применяли свет для вмешательств в деятельность живых систем. При так называемой светозависимой инактивации (CALI, chromophore-assisted light inactivation) световой пучок использовался для разрушения, а следовательно выключения функции отдельных белков. С помощью лазерного луча удавалось разрушать конкретные клетки, например, у червя *Caenorhabditis elegans*. Исследователь из Bell Laboratories Ричард Форк (Richard L. Fork) в 1970-х гг. и сотрудник Колумбийского университета Рафаэль Юст (Rafael Yuste) в 2002 г. описали методы стимуляции нейронов с помощью лазерного луча, локально нарушающего целостность их мембраны. В течение последних десяти лет коллективами Геро Мизенбека (Gero Miesenböck) из Мемориального онкологического центра Слоуна-Кеттеринга и исследователей из Калифорнийского университета в Беркли Эхуда Айзекова (Ehud Isacoff), Ричарда Крамера (Richard H. Kramer) и Дирка Тронера (Dirk Trauner) применялись полимолекулярные системы для управления активностью отдельных клеток с помощью светового луча. Так, они одновременно вводили в нейроны белки, изменяющие их функцию, вместе со светочувствительными химическими веществами, активирующими эти белки.

Однако методы разрушения белков или клеток применяются в основном лишь в экспериментальных лабораториях, а использование полимолекулярных систем, при всем их изяществе и больших возможностях, сопряжено с практическими трудностями и имеет лишь ограниченное применение у млекопитающих. Необходимы были принципиально новые подходы с использованием мономолекулярных систем.

## СКРОМНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ

Некоторым простейшим водорослям и другим микроорганизмам для выживания необходимы светочувствительные белки – опсины. Их активация под действием света приводит к изменению потока ионов через мембрану, что способствует получению из окружающей среды энергии и информации. Разные опсины отличаются по светочувствительности и реакциям на свет. Гены, кодирующие эти белки, – главный инструмент оптогенетики, с помощью которого нейрофизиологи управляют активностью отдельных нейронов

### Микроорганизм



Хламидомонада *Chlamydomonas reinhardtii* – одноклеточная подвижная пресноводная водоросль с двумя жгутиками, обеспечивающими передвижение



Вольвокс *Volvox carteri* – близкая к хламидомонадам колониальная шарообразная водоросль из сотен клеток



*Natronomonas pharaonis* – архея, живущая исключительно в водоемах с крайне высокой концентрацией соли

### Среда



Дно и воды пресных водоемов во всем мире



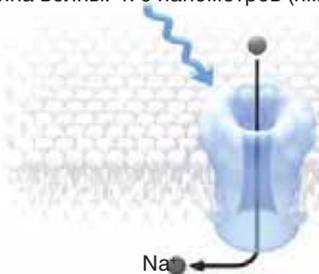
Пруды, озера и заполненные водой канавы



Соленые озера Египта и Кении

### Транспорт ионов

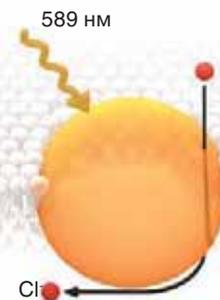
Длина волны: 470 нанометров (нм)



Каналородопсин-2 (ChR2) – натриевый канал, активируемый синим светом

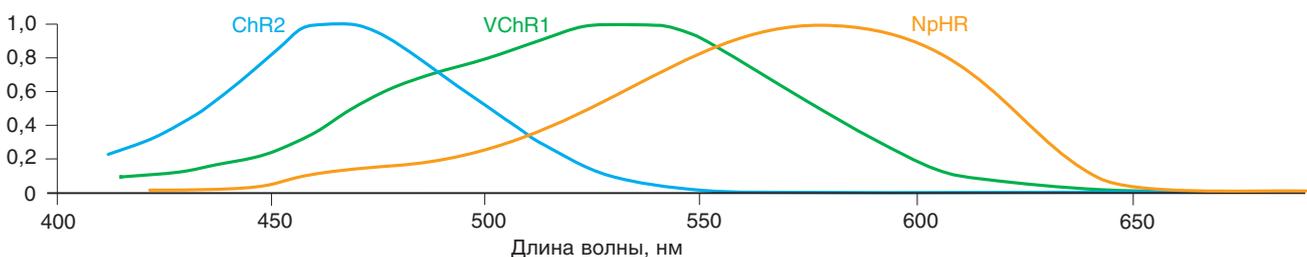


Каналородопсин вольвокса (VChR1) активируется зеленым и желтым светом



Галородопсин *Natronomonas pharaonis* (NpHR) осуществляет перенос ионов хлора под действием желтого света

### Относительная светочувствительность



В их основу легло не какое-то сочетание уже имеющихся методов, а применение уникальных светочувствительных микробных белков – бактериородопсинов, галородопсинов и каналородопсинов.

В 2000 г., когда бактериородопсины и галородопсины были уже хорошо изучены, ученые из Института исследования ДНК в Кадзусе (Япония) опубликовали в Интернете нуклеотидные последовательности нескольких тысяч генов зеленой водоросли хламидомонады *Chlamydomonas reinhardtii*. При изучении этих данных исследователь из Университета Регенсбурга Петер Хегеманн (Peter Hegemann), предположивший в свое время наличие у хламидомонад светочувствительного ионного канала, выявил две длинные последовательности, сходные с бактериородопсином, получил их молекулярные копии и предложил исследователю из Института биофизики им. Макса Планка во Франкфурте-на-Майне Георгу Нагелью (Georg Nagel) проверить, не кодируют ли они ионные каналы. В 2002 г. Хегеманн и Нагель сообщили о том, что одна из последовательностей действительно кодирует светочувствительный

мономолекулярный ионный канал: под действием лучей синего цвета изменялась его проницаемость для катионов. Этот белок был назван каналородопсином-1 (ChR1). В следующем году Нагель, Хегеманн и их коллеги, в частности сотрудник Института биофизики Эрнст Бамберг (Ernst Bamberg), изучили вторую нуклеотидную последовательность и назвали кодируемый ею белок каналородопсином-2 (ChR2). Одновременно и независимо сотрудник медицинского факультета Техасского университета Джон Спадич (John L. Spudis) сообщил о том, что эти гены играют важную роль в реакции хламидомонад на свет. Так были открыты каналородопсины – третий тип светочувствительных мономолекулярных белковых систем, регулирующих транспорт ионов через мембрану. Однако, как и в случае первых двух систем (бактериородопсинов и галородопсинов), возможности использования в нейрофизиологии были оценены далеко не сразу.

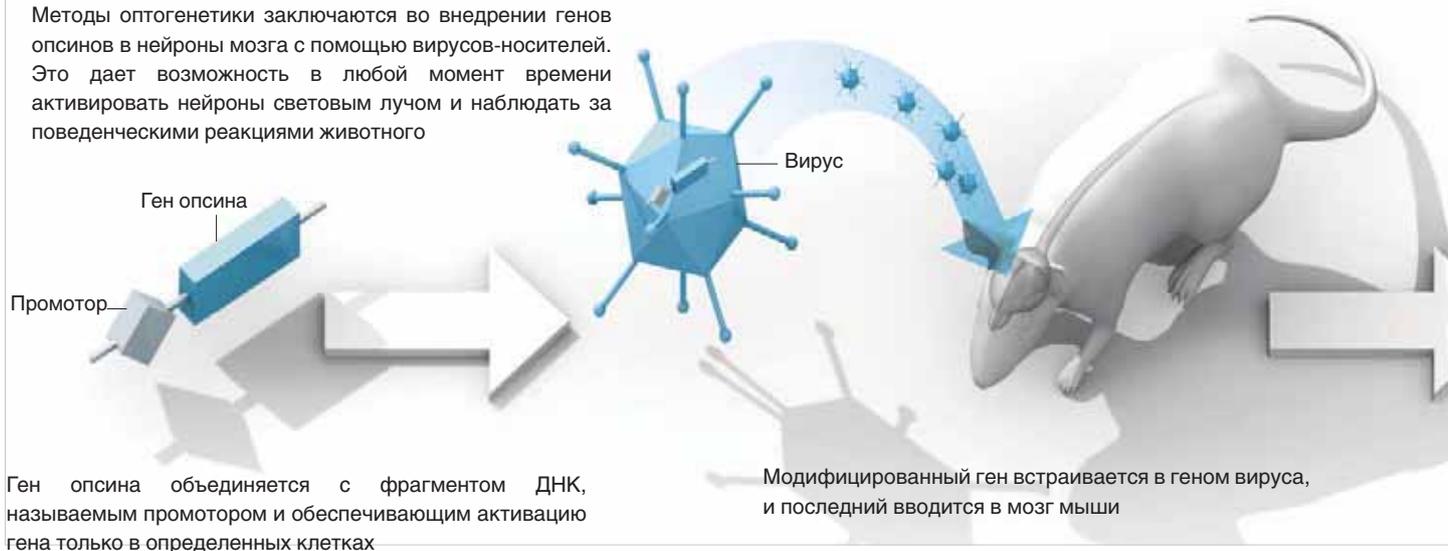
Впоследствии многие коллеги говорили мне, что им в голову приходила идея о внедрении опсинов бактерий или водорослей в нейроны с целью управления функцией

последних, но дальнейшего развития эти мысли не получили. Казалось маловероятным, чтобы животные клетки могли синтезировать эти белки в достаточных количествах и без отрицательных последствий, а активность самих таких белков, как считалось, была слишком медленной и незначительной. Кроме того, для их функционирования необходим кофактор, поглощающий кванты света: производное витамина А, называемое полностью-транс-ретином. Временные и финансовые затраты казались неоправданно большими.

Однако исследовательский коллектив, который мне удалось собрать в Стэнфордском университете, двигало скорее стремление получить новые данные о механизмах психических расстройств, чем страх потерпеть неудачу. За годы моей работы в практической психиатрии я много раз сталкивался с неэффективностью и побочными эффектами лекарственных препаратов и электросудорожной терапии. Это придало мне решимости, и в 2004 г. я в качестве ведущего исследователя Стэнфордского университета собрал команду, в которую входили в частности

## УПРАВЛЕНИЕ НЕЙРОНАМИ С ПОМОЩЬЮ СВЕТА

Методы оптогенетики заключаются во внедрении генов опсинов в нейроны мозга с помощью вирусов-носителей. Это дает возможность в любой момент времени активировать нейроны световым лучом и наблюдать за поведенческими реакциями животного



аспиранты Эдвард Бойден (Edward S. Boyden) и Фэн Чжан (Feng Zhang). Нам удалось внедрить ген каналородопсина-2 в нейроны млекопитающих в клеточной культуре. Мы применили хорошо разработанные к тому времени методы трансфекции: сначала путем так называемого сплайсинга мы ввели ген каналородопсина-2 и «включатель» его считывания (промотор) в ДНК носителя (вектора) – лишённого болезнетворных свойств вируса, а затем с помощью носителя «заразили» (трансфицировали) данным геном нервные клетки. Благодаря свойствам протомора считывание гена каналородопсина-2 и синтез этого белка происходили только в выбранных нами нейронах (например, выделяющих в качестве нейромедиатора глутамат).

Вопреки пессимистичным прогнозам наш опыт оказался на редкость удачным. Воспользовавшись совершенно безобидными вспышками видимого света, мы смогли надёжно и с точностью до миллисекунд управлять возникновением нервных импульсов – сигналов, с помощью которых нейроны обмениваются информацией. В августе 2005 г. нашим коллективом

были опубликованы первые данные о том, что путем внедрения в нейроны млекопитающих генов микробных опсинов можно было вызывать у этих нейронов точно контролируемые реакции на свет. С помощью каналородопсинов (и, как выяснилось в дальнейшем, галородопсинов, а также открытых в 1971 г. бактериородопсинов) появилась возможность надёжно и без повреждающих воздействий активировать или тормозить нейроны световым лучом. Этому способствовал и неожиданный «подарок судьбы»: в клетках млекопитающих оказалась достаточно высокой концентрация полностью-транс-ретиналя, необходимого для световой активации опсинов. Таким образом, в нервные клетки следовало лишь внедрить гены этих белков.

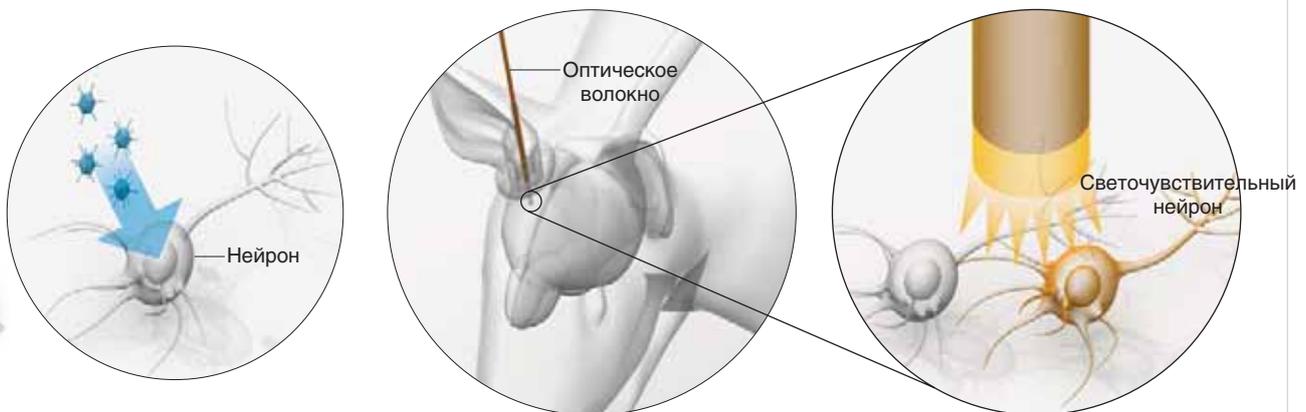
Через год мы с моим коллегой по Стэнфордскому университету Марком Шницером (Mark Schnitzer) в обзорной статье предложили термин «оптогенетика». К тому времени уже многие коллективы во всем мире использовали данный подход, применяя для изучения функций клеток млекопитающих варианты полученных нами генов. К настоящему времени мы разослали копии этих генов примерно в 700 лабораторий.

**Стремление получить новые данные о механизмах психических расстройств оказалось сильнее страха потерпеть неудачу**

## Усовершенствование природы

Синтез зоологии и генной инженерии привел к быстрому появлению новых методов оптогенетики и расширению их возможностей. В результате прицельного изучения живых организмов были открыты новые опсины, а методы генной инженерии позволили изменять эти белки таким образом, чтобы дать возможность проводить все более разнообразные эксперименты на разных видах животных.

Illustration by Bryan Christie



Вирус трансфицирует многие клетки, но благодаря свойствам промотора только нейроны определенного типа начинают синтезировать опсин

С помощью имплантированных в мозг оптических волокон можно подавать свет на определенные нейроны, вызывая специфические электрические реакции

Так, в 2008 г. в процессе изучения генома водоросли *Volvox carteri* Фэн Чжан обнаружил третий тип каналородопсинов, названный каналородопсином вольвокса (VChR1). Мы с Хегеманном выяснили, что в отличие от ранее известных каналородопсинов, VChR1 активируется лучами желтого, а не синего цвета. Используя одновременно VChR1 и другие каналородопсины, мы смогли управлять активностью смешанной популяции нейронов: одни из них реагировали на желтый свет, другие – на синий. Самой высокой активностью из всех каналородопсинов обладал гибридный ChR1 и VChR1. Трудami моих сотрудников Офера Иджара (Ofer Yizhar), Лифа Фенно (Lief Fenno), Лизы Ганейдин (Lisa Gunaydin), а также Хагеманна и его студентов были получены и другие модифи-

цированные опсины. В частности, «сверхбыстрые» и «сверхмедленные» опсины дали нам возможность исключительно точно управлять временем возникновения и длительностью нервных импульсов: с помощью сверхбыстрых опсинов можно было вызывать импульсы с частотой выше 200 в секунду, а с помощью сверхмедленных – длительно менять возбудимость нейронов путем подачи одиночных вспышек света. Новые варианты опсинов реагируют на красные лучи в диапазоне, граничащем с инфракрасным. Такие лучи можно тоньше фокусировать, они глубже проникают в ткани и не вызывают никаких отрицательных последствий.

С помощью генной инженерии удалось распространить методы оптогенетики не только на электрическую, но и на биохимическую ак-

тивность нейронов. Известно, что многие лекарственные препараты действуют на особые мембранные белки – рецепторы, сопряженные с G-белками. Они воспринимают химические сигналы (например, адреналин) и в ответ запускают системы внутриклеточной передачи сигнала (например, сопряженные с ионами кальция), тем самым меняя активность клетки. Мои сотрудники, в частности Рааг Айран (Raag D. Aigron), смогли внедрить светочувствительный участок молекулы родопсина в один из таких рецепторов, получив тем самым семейство так называемых оптоXR-рецепторов, реагирующих на зеленый свет. Трансфицируя нейроны мозга грызунов генами этих рецепторов (с помощью вирусов-носителей), мы смогли управлять биохимическими процессами в данных нейронах в ус-

## МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ: РАСШИРЯЮЩИЙСЯ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АРСЕНАЛ

Возможности оптогенетики расширяются за счет манипуляций с уже имеющимися генами опсинов и поиска новых природных светочувствительных белков. Новые опсины с ценными свойствами, применяемые по отдельности или совместно, помогают раскрывать тайны природы путем доселе невозможных экспериментов. В этой таблице приведены некоторые наиболее важные опсины и их свойства

ОПСИН	ИСТОЧНИК	СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (длина волны)	ПРИМЕНЕНИЕ
<b>Сверхбыстрый каналородопсин (мутантный ChR2)</b>	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> alga	470 нм (максимальная активация)	Быстрое включение и выключение импульсации нейронов с точностью до миллисекунд и частотой до 200 Гц
<b>Сверхмедленный каналородопсин (мутантный ChR2)</b>	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> alga	470 нм – активация; 546 нм – инактивация (у некоторых вариантов)	Долговременное изменение возбудимости нейронов с помощью коротких вспышек света. Благодаря особенностям светочувствительности эти белки очень удобны для световой стимуляции глубоких структур (например, мозга млекопитающих)
<b>Каналородопсин вольвокса (VChR1)</b>	<i>Volvox carteri</i> alga	535 и 589 нм	Активация нервной импульсации. Поскольку VChR1 реагирует на желтый свет, а ChR2 – на синий, они могут использоваться одновременно для независимого управления активностью разных нейронов в сложных нейронных контурах
<b>Рецепторы ОптоXR</b>	Синтетические гибриды родопсина и рецепторов, сопряженных с G-белками	500 нм	Быстрая активация в определенных клетках специфических биохимических процессов, а не нервных импульсов. Может использоваться у животных в свободном поведении

## ЭТИЧЕСКИЕ СТОРОНЫ ОПТОГЕНЕТИКИ

Оптогенетика, наряду с психотропными препаратами и психирургией, становится очередным способом вмешательства в деятельность мозга. Это естественным образом поднимает ряд философских и этических вопросов. Однако на самом деле оптогенетика с этической точки зрения безобиднее традиционных методов: с одной стороны, ее эффекты значительно прицельнее, а с другой – она слишком сложна технически для того, чтобы ее можно было применить у неосведомленного больного или против его воли.

Впрочем, точность методов оптогенетики заставляет задуматься о более тонких (и, возможно, более интересных) вещах. В конечном счете наши личностные особенности, моральные ценности, способности, эмоции и воспоминания обусловлены электрическими и биохимическими процессами в определенных нейронах в определенное время. Управление этими ключевыми свойствами мозга порождает целый ряд вопросов, начиная от показаний к такого рода вмешательствам и их оправданности и заканчивая более абстрактными проблемами сущности личности и воли.

До сих пор методы воздействия на мозг с помощью хирургических вмешательств, психотропных средств или электростимуляции были слишком грубыми, а потому философские вопросы имели отвлеченный характер и лишь в небольшой степени затрагивались биоэтикой и юриспруденцией. Однако для психиатров они представляются гораздо более практическими, т.к. даже современные возможности позволяют управлять эмоциями больного и его представлениями о действительности.

Однако времена меняются, и ярким примером тому служит стремительное развитие оптогенетики. Качественный прорыв во временной и пространственной точности управления мозгом, как и другие новые технологии, подразумевает обсуждение общественности. Нейрофизиологам придется отвечать на вопросы заинтересованных обывателей, касающихся того, что дает (и чего не дает) оптогенетика для понимания сущности разума и лечения душевных расстройств.

ловиях свободного поведения животного в экспериментальной камере. Таким образом, сегодня стало возможным быстрое и прицельное управление биохимической активностью клеток как в культуре клеток, так и у интактных животных. Иными словами, методы оптогенетики стали применимы практически к любым клеткам и тканям.

Многие гены опсинов, найденные у микробов, кодируют белки, плохо синтезируемые в клетках млекопитающих. В связи с этим моя соотрудица Вивиана Градинару (Viviana Gradinaru) разработала методики, позволяющие улучшить внедрение таких генов и синтез соответствующих белков. В частности, в гены опсинов можно внедрять фрагменты ДНК, служащие своего рода «адресом» для доставки этих генов в нужные участки генома клеток млекопитающих и эффективного считывания с них информации с образованием функционирующих белков. В 2006–2007 гг. мы разработали световолоконные устройства, позволяющие подводить световые лучи к любым участкам мозга – поверхностным или глубинным – у животных

в свободном поведении. Для регистрации электрических сигналов, вызываемых световыми лучами, мы создали гибридные системы из оптических волокон и электродов (мы называем их «оптродами»).

Сочетание световой стимуляции с электрической регистрацией особенно удачно еще и потому, что эти два вида сигналов не накладываются друг на друга. Можно, например, одновременно воздействовать светом на нейроны, трансфицированные генами опсинов, и регистрировать их электрическую активность. Чем сложнее и разнообразнее будут активированные светом структуры и вызываемые такой активацией электрические реакции, тем ближе мы сможем подойти к решению обратной задачи нейрофизиологии, известной также как «принцип черного ящика»: пониманию функциональной организации нейронных контуров на основании соотношения между стимулом и реакцией. В свою очередь, понимание организации нейронных контуров в норме позволит судить о нарушениях, возникающих при психических и неврологических расстройствах, а следовательно мо-

жет помочь в поиске терапевтических воздействий, направленных на устранение таких нарушений.

## Вскрытие черного ящика

Роль оптогенетики в нейрофизиологии, особенно в сочетании с другими методами, быстро возрастает. В последние годы большие успехи были достигнуты с помощью метода визуализации мозга, называемого функциональной магнитно-резонансной томографией (фМРТ). Считается, что она позволяет составлять подробную карту активности мозга при реакциях на различные раздражители. Однако, строго говоря, фМРТ лишь отражает уровни кровоснабжения и потребления кислорода в разных отделах мозга, что может служить только косвенным показателем нейрональной активности.

Таким образом, в вопросе о том, действительно ли изменения фМРТ свидетельствуют о повышенной активности нейронов, всегда была некоторая неопределенность. Для ответа на данный вопрос мы в мае 2010 г. провели исследования с сочетанием оптогенетики и фМРТ (офМРТ). Кроме того, такое со-

четание позволило картировать нейронные контуры с точностью и подробностью, недостижимыми с помощью фармакологических воздействий или электродов. Это стало существенным вкладом оптогенетики в развитие нейрофизиологических методик и концепций.

Сегодня оптогенетика позволяет отвечать и на вопросы, имеющие прямое отношение к психическим и неврологическим заболеваниям человека. В опытах на животных мы применили методы оптогенетики для изучения функционирования особых нейронов (так называемых орексинсодержащих нейронов) глубинных отделов мозга. Ранее высказывалась гипотеза, что они могут участвовать в развитии одной из форм нарушений сна – нарколепсии. Мы обнаружили, что некоторые формы электрической активности данных нейронов могут вызывать переход от бодрствования ко сну. Возможно, когда-нибудь будут найдены способы воспроизведения такой активности и тем самым устранения проявлений нарколепсии. Кроме того, получены данные о том, что определенные формы импульсной активности нейронов могут вызывать сложные виды поведения.

Методы оптогенетики помогли также уточнить, как секретирующие дофамин нейроны участвуют в возникновении чувства удовольствия. Мы вызывали в этих нейронах разряды с различными временными характеристиками у мышей в свободном поведении. Шеней, обуславливающих депрессию и разные формы зависимости.

С помощью оптогенетики были получены новые данные о болезни Паркинсона, в основе которой лежит нарушение обработки информации в определенных двигательных центрах мозга. С 1990-х гг. при этом заболевании применяется так называемая глубинная электростимуляция мозга: с помощью имплантированного устройства, сходного с электрокардиостимулятором, в глубокие центры мозга (например, субталамическое ядро)

с определенной периодичностью подаются электрические разряды.

Однако возможности данного метода при болезни Паркинсона (а также при ряде других состояний) ограничены в связи с тем, что электростимуляция имеет неизбежный характер, затрагивая соседние участки мозга, а знание оптимальных с медицинской точки зрения характеристик раздражения удручающе неполно. Недавно на экспериментальных моделях болезни Паркинсона мы с помощью методов оптогенетики получили новые данные о природе нейрофизиологических нарушений и механизмах действия лечебных воздействий при этом заболевании.

Мы обнаружили, например, что глубинная электростимуляция мозга более эффективна, когда она затрагивает не столько сами нейроны, сколько связи между ними, т.е. влияет на потоки импульсации между разными отделами мозга. Совместно с исследователем из Калифорнийского университета в Сан-Франциско Анатодем Крейцером (Anatol Kreitzer) мы провели функциональное картирование двух путей, отвечающих за регуляцию движений: один из них замедляет движения, а второй, напротив, ускоряет, и его активация может снижать проявления паркинсонизма.

С помощью прицельной активации определенных нейронов коры – так называемых парвальбуминсодержащих нейронов – мы смогли влиять на мозговой гамма-ритм (колебания электрической активности с частотой 40 Гц). В свое время было показано, что у больных шизофренией нарушены как функция этих нейронов, так и гамма-ритм, однако клиническое значение данного факта было неясным. Используя методы оптогенетики, мы показали, что парвальбуминсодержащие нейроны усиливают гамма-ритм, а это в свою очередь облегчает обмен информацией между отделами коры.

У больных шизофренией я наблюдал явные нарушения обработки

информации, при которых обычные бытовые события воспринимались как значительные. Возможно, это и порождало бред и параноидные состояния. Был также расстроен внутренний механизм, ответственный за восприятие мыслей как собственных; не исключено, что именно этим объясняются характерные для шизофрении слуховые псевдогаллюцинации (звучащие мысли, или «голоса»). У больных аутизмом, напротив, обработка информации ограничена узкими рамками: они не могут воссоздать общую картину мира, сосредоточиваясь на отдельных деталях предметов, людей, разговоров и пр. Такие нарушения обработки информации могут привести и к расстройствам общения и социального поведения. Возможно, изучение механизмов гамма-ритма и его нарушений поможет лучше понять сложные расстройства.

Для меня как практического врача такая работа особенно важна, т.к. она позволяет подойти как с инженерных, так и с количественных позиций к таким тяжелым, порой неизлечимым и, на первый взгляд, совершенно непонятным заболеваниям, как психические расстройства. Оптогенетика приближает тот день, когда мозг будет рассматриваться как кибернетическое устройство, сложные функции которого (а соответственно, и порождаемые им формы поведения) обусловлены электрической и биохимической активностью нейронов и нейронных контуров. Это коренным образом изменит наши представления о том, как работает нервная система в условиях нормы и патологии. От того момента, как ученые обнаружили удивительную способность бактериального белка бактериородопсина реагировать на свет, оптогенетика прошла длинный и тернистый путь.

## Дары неизведанного

На собраниях Общества нейронаук и некоторых других научных форумах я нередко слышал от своих коллег мысль о том, что эффек-

тивнее было бы не разбрасываться по отдельным направлениям, а сосредоточить усилия десятков тысяч исследователей на одном крупном и важном проекте – например, лечении болезни Альцгеймера. Однако на самом деле такое единообразие может лишь затормозить научный прогресс: только в области неизведанного рождаются по-настоящему новые идеи, способные взорвать привычные представления.

Развитие оптогенетики продемонстрировало, что даже самые древние, примитивные и экзотические объекты – такие как клетки из зацветших прудов или пересыхающих соленых озер Сахары – могут сыграть неоценимую роль в понимании современного мира и нашего собственного разума. Это лишний раз показывает, как важно береж-

но относиться к редким экологическим системам и насколько необходима поддержка фундаментальных исследований. Наука – дорога в неизведанное, и никто не может предсказать, где найдется тот светоч, который озарит нам путь. ■

**Перевод: Н.Н. Алипов**

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Millisecond-Timescale, Genetically Targeted Optical Control of Neural Activity. Edward S. Boyden et al. in *Nature Neuroscience*, Vol. 8, pages 1263-1268; September 2005.

■ Optical Deconstruction of Parkinsonian Neural Circuitry. Viviana Gradinaru et al. in *Science*, Vol. 324, pages 354-359; April 17, 2009.

■ Temporally Precise in Vivo Control of Intracellular Signaling. Raag D. Airan et al. in *Nature*, Vol. 458, pages 1025-1029; April 23, 2009.

■ Optogenetic Interrogation of Neural Circuits: Technology for Probing Mammalian Brain Structures. Feng Zhang et al. in *Nature Protocols*, Vol. 5, No. 3, pages 439-456; February 18, 2010.

ежемесячный научно-информационный журнал

**SCIENTIFIC AMERICAN** **В мире науки**

www.sciam.ru

**ПОДРОБНОСТИ ПО ТЕЛЕФОНУ:**  
+7 (495) 939-42-66

**МОЗГ И СОЗНАНИЕ**

АЛЬМАНАХ

Нейрогенез  
Структура и функция  
Пластичность  
Наше сознание

ЛУЧШИЕ МАТЕРИАЛЫ ЖУРНАЛА «В МИРЕ НАУКИ»  
О ТАЙНАХ МОЗГА И СОЗНАНИЯ —  
ТЕПЕРЬ НА CD-ДИСКАХ

# ОТЛОЖЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Проект «Геном человека» пока не привел к революции в медицине – вопреки ожиданиям мирового научного сообщества. Сегодня биологи размышляют над тем, что было сделано неправильно и что необходимо предпринять в будущем

Стивен Холл

Каких-нибудь десять лет назад и биологи, и те, кто к этой науке не имеет отношения, с энтузиазмом говорили о радужных перспективах, которые открываются перед медициной в связи с завершением работы над проектом «Геном человека». На состоявшейся в Белом доме летом 2000 г. церемонии представления первого варианта «книги жизни» президент Билл Клинтон заявил, что расшифровка генома человека приведет к «революции в диагностике, предупреждении и лечении большинства, а возможно и всех болезней человека».

Годом ранее Фрэнсис Коллинз (Francis S. Collins), работавший в то время в Национальном институте по исследованию генома человека, горячий приверженец его расшифровки, предрек наступление в 2010 г. эры «персонализированной медицины». По его мнению, геномное тестирование позволит предсказывать риск развития онкологических и других серьезных заболеваний у любого человека, и врачи смогут предупреждать эти патологии или подбирать способы лечения, оптимальные для каждого, кто уже болен.

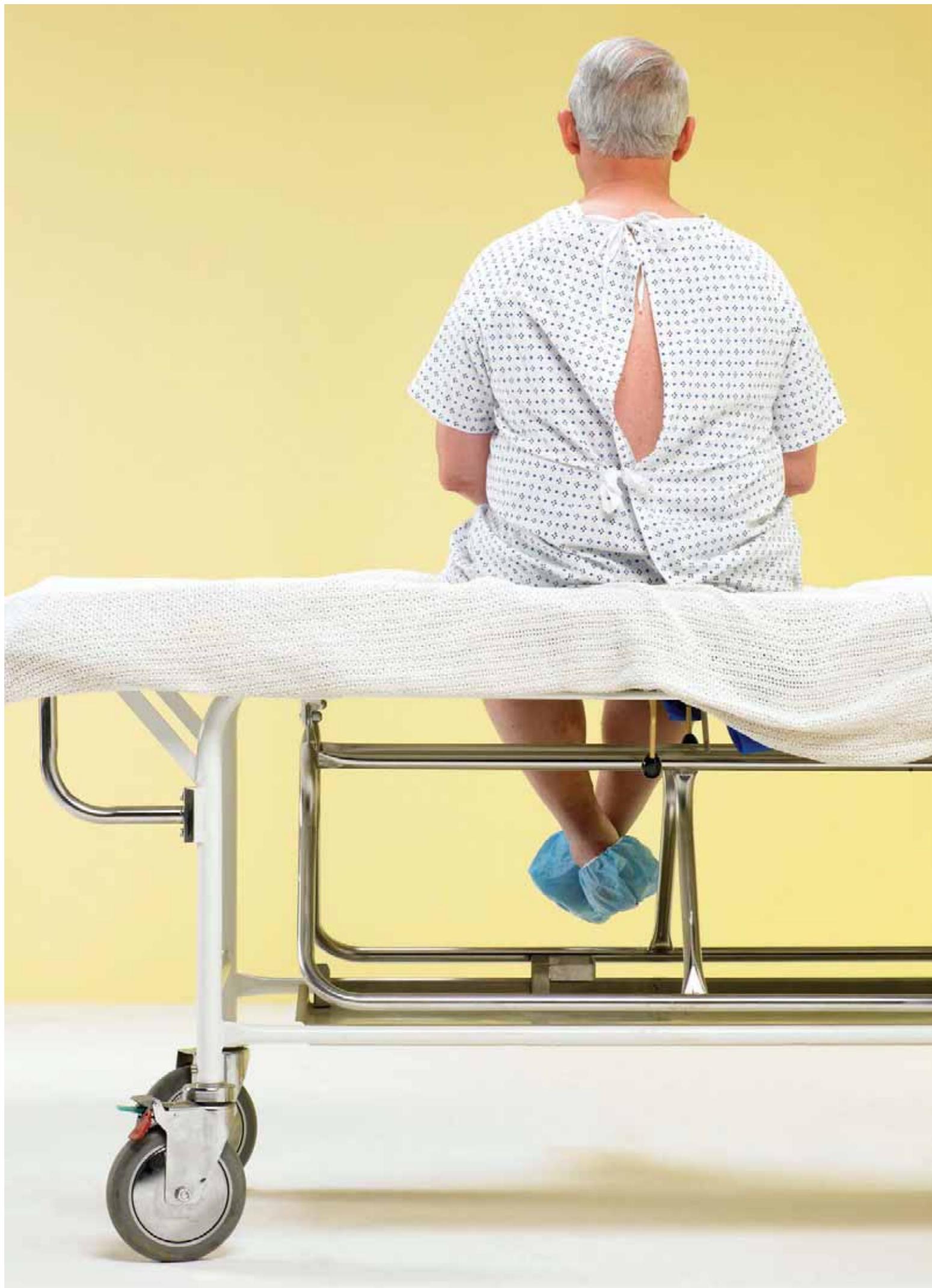
Еще до того как была определена нуклеотидная последовательность всей геномной ДНК человека, команда генетиков – хорошо финансируемая, вооруженная мощной методологией секвенирования и картирования, располагающая обширной, постоянно пополняемой базой данных – занялась идентификацией ключевых генов, ассоциированных с тяжелыми заболеваниями.

Приблизился 2010 г., но биологическое сообщество встретило его

без былого энтузиазма, полное сомнений. Дело было не в самом проекте «Геном человека», который действительно открыл перед биологической наукой новые горизонты. Так, в геноме человека обнаружались «зияющие пустоты», казалось бы, не выполняющие никаких функций (генетический «хлам»), а на самом деле играющие важную регуляторную роль; в ДНК человека найдены следы генетического материала неандертальца, и т.д. Все это необходи-

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В 2000 г. руководители проекта «Геном человека» сообщили об окончании работы над его «черновым вариантом». Согласно их прогнозам, с детализацией нуклеотидной последовательности геномной ДНК появится возможность в ближайшее десятилетие вплотную подойти к персонализации медицины.
- К настоящему времени, однако, успехи в применении результатов реализации проекта в медицине весьма невелики, хотя на биологическую науку в целом они оказали колоссальное влияние.
- Некоторые крупные генетики считают, что основной подход к выяснению генетических корней заболеваний – поиск наиболее распространенных генных вариантов – неэффективен. Другие, не менее авторитетные биологи уверены в правильности подхода и связывают отсутствие серьезных результатов с тем, что прошло еще слишком мало времени с начала исследований.
- Решить этот спор и продвинуться в поисках истоков многих серьезных заболеваний поможет применение в исследовании генома методов следующего поколения.



### Некоторые ведущие молекулярные генетики настаивают на правильности широко используемого подхода к выявлению генетических корней распространенных заболеваний, который основан на поиске наиболее распространенных генных вариантов

мо теперь осмысливать и объяснять. По словам эксперта в области онкологии Берта Фогельштайна (Bert Vogelstein), «проект "Геном человека" радикальным образом повлиял на саму научную методологию». Это мнение разделяют большинство биологов.

Итак, те ростки нового, которые появились с окончанием работы над проектом, не принесли обещанных плодов в области медицины. Роберт Уайнберг (Robert A. Weinberg) из Уайтхедского института биомедицинских исследований в г. Кеймбридже (штат Массачусетс) замечает, что успехи медицинской геномики «более чем скромные на фоне инвестиций в эту область». А Харолд Вармус (Harold E. Varmus), бывший директор системы Национальных институтов здравоохранения, написал недавно в *New England Journal of Medicine*, что «в повседневную медицинскую практику вошла лишь какая-то горстка новых генетических тестов, да и то большая их часть – это

результат открытий, сделанных до обнаружения результатов секвенирования генома человека». И, наконец, Дэвид Голдстейн (David V. Goldstein), директор Центра по изучению вариативности генома человека при Университете Дьюка, заявил: «Никто не поручится, что эра персонифицированной медицины наступит в ближайшие годы».

По-видимому, ожидание того, что чудо произойдет непременно в ближайшее десятилетие, не имело веских оснований. Более того: может быть, на удивление скромный вклад проекта в медицину означает, что в поисках генетических основ заболеваний ученые пошли по неверному пути. Используемый до недавнего времени подход основан на выявлении небольших изменений в генах.

Многие годы в молекулярной генетике господствовала гипотеза, что наличие в геноме данного индивида некоего набора широко распространенных измененных генов (генных вариантов) коррелирует с подверженностью его определенному заболеванию (common variants / common disorder, CV/CD) и что это поможет понять механизм наследования таких сложных заболеваний, как диабет II типа или атеросклероз. Означает ли отсутствие ощутимого вклада часто встречающихся генных вариантов в развитие той или иной патологии, что упомянутая гипотеза неверна?

Этот вопрос положил начало расколу в медико-биологическом сообществе. С одной стороны, многие ведущие генетики по-прежнему уверены, что гипотеза работает. Так, Эрик Ландер (Eric S. Lander), директор Института Брода, филиала Уайтхедского института, заявил, что «идея подобрать генетические ключи к различным заболеваниям по-настоящему завладела умами исследователей лишь в последние три года, и мы едва коснулись поверхности предстоящих разработок». По его мнению, революция в медицине начнется с внедрением новых технологий, и ее плодами восполь-

зуются наши дети, а не мы. Иными словами, революция неизбежна, но время для нее еще не пришло.

С другой стороны, все большее число биологов настаивает на том, что гипотеза «часто встречающиеся генные варианты / распространенные заболевания» неверна. Жаркие споры по этому поводу развернулись весной 2010 г. на страницах журнала *Cell*. Генетики Мэри-Клэр Кинг (Mary-Claire King) и Джон Макклеллан (Jon M. McClellan) из Вашингтонского университета утверждают, что «связь подавляющего большинства распространенных генных вариантов с какими-либо заболеваниями четко не установлена, и они бесполезны для прогнозирования или выбора способа лечения». А Уолтер Бодмер (Walter Bodmer), известнейший представитель британской генетики, беспартийно заявляет, что стратегия CV/CD ошибочна.

В то время как одни радуются успехам молекулярной генетики, другие смотрят на достигнутые результаты, мягко говоря, скептически и задаются вопросом: «И что же с ними делать?» Поиски ответа на него могут привести к совершенно новым подходам к патогенезу заболеваний человека и выяснению способов их передачи от поколения к поколению.

#### Альтернативный путь

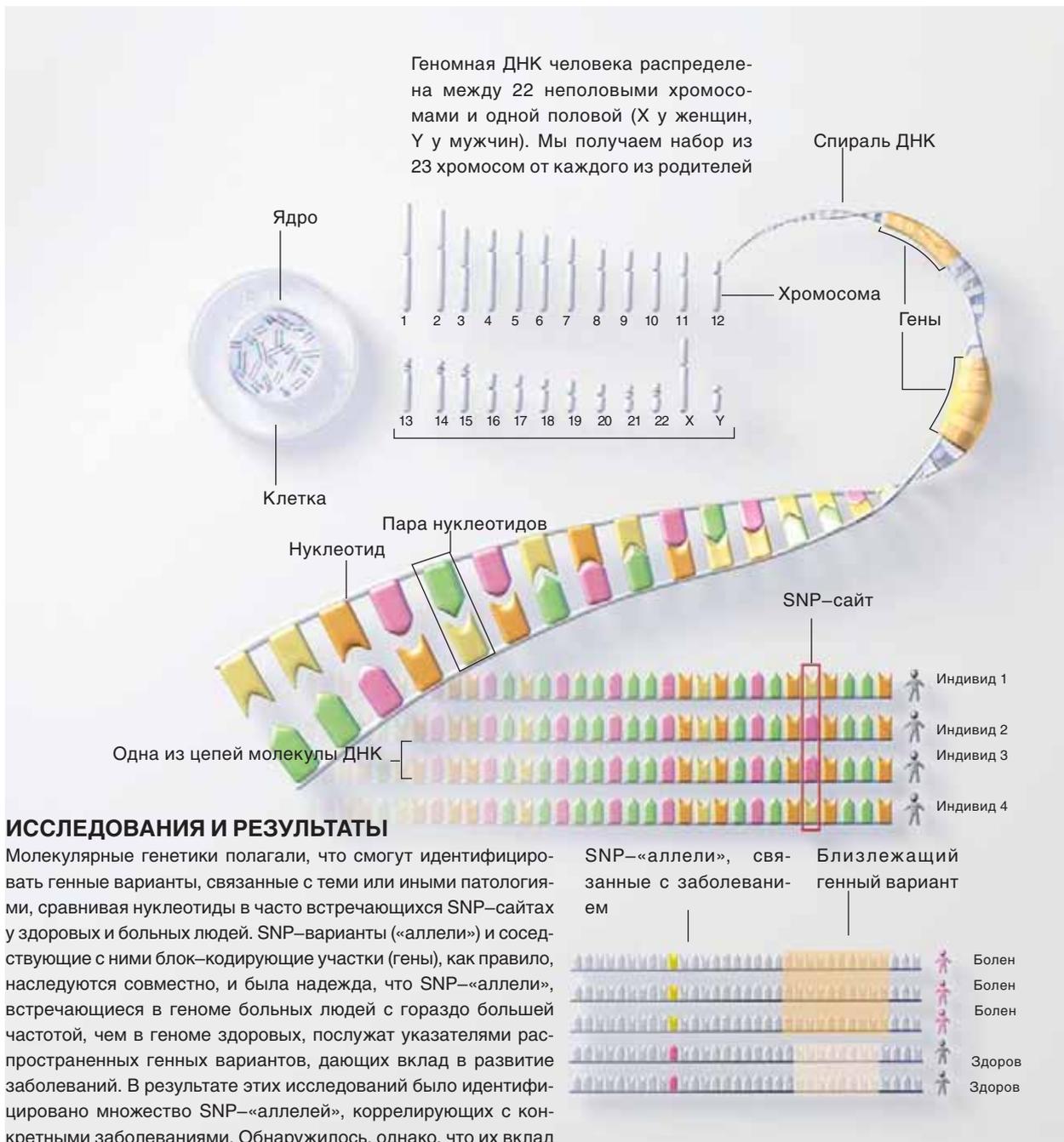
Все высказанные выше суждения относительно гипотезы распространенных вариантов не означают прекращения всяких научных дебатов по этому кругу вопросов. Сегодня намечается по крайней мере один выход из сложившейся ситуации. Так, Бодмер предлагает обратить внимание на редкие генные варианты. Граница между ними и распространенными вариантами четко не определена. По мнению Бодмера, вариант можно считать редким, если он встречается у 0,1–0,2% членов популяции. Но главное в его предложении состоит в том, что варианты, которые оказывают значительное влияние на состояние здоровья, должны быть редкими, а многочисленными

**ЛОГИКА МОЛЕКУЛЯРНО–ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Большинство исследований, касающихся генетики распространенных заболеваний, исходно основывались на, казалось бы, логичном предположении, что в их основе лежат наиболее часто встречающиеся генные варианты. Сегодня эта гипотеза вызывает большие сомнения, хотя у нее остается немало сторонников

**ОТПРАВНАЯ ТОЧКА**

Инициаторы проекта «Геном человека» ставили перед собой задачу определить последовательность пар нуклеотидов – «строительных блоков» ДНК – всего генома человека. Источниками ДНК были несколько добровольцев. В ходе этой работы выяснилось, что в ДНК имеется много однонуклеотидных замен, причем у разных людей они могут быть неодинаковыми в одном и том же сайте, т.е. полиморфными



## Выход из тупика, в который зашли дискуссии по поводу гипотезы «наиболее часто встречающиеся генные варианты / распространенные заболевания» видится в полной смене курса

варианты почти всегда обладают пренебрежимо малым эффектом.

Такие же аргументы привели Кинг и Макклеллан в опубликованной весной прошлого года в журнале *Cell* заметке, которую Ландер, впрочем, назвал «всего лишь частным мнением». Кинг (обнаружившая сотни редких вариантов генов BRCA1 и BRCA2, отвечающих за развитие семейной формы рака молочной железы) и Макклеллан (выявивший множество редких генных вариантов, которые связаны с шизофренией) предлагают «новую парадигму» в изучении патогенеза сложных заболеваний. Они считают, что большинство таких заболеваний «гетерогенны» (в том смысле, что в основе одной и той же патологии могут лежать разные мутации в разных генах), что мутации, дающие основной вклад, редки, и что многие редкие генные варианты появились в геномном пуле человечества сравнительно недавно. Таким образом, выявление у пациентов редких генных вариантов может привести исследователей к раскрытию молекулярных механизмов различных заболеваний, а затем и к получению новых лекарственных средств.

Бодмер, Кинг, Макклеллан и другие генетики, ссылаясь на работу Хелен Хоббс (Hellen H. Hobbs) и Джонатана Коэна (Jonathan C. Cohen), рассма-

тривают ее как модель использования фенотипических признаков в качестве проводника в поисках значимой для медицины информации, заключенной в геноме.

В центре внимания Хоббс и Коэн находятся необычные заболевания; они полагают, что за редкими биологическими эффектами стоят редкие генные варианты, и, отталкиваясь от этого, пытаются выбрать для анализа специфические гены. Далее они определяют нуклеотидную последовательность генов-кандидатов, чтобы найти среди них те, которые мало чем отличаются от обычных генов, но в функциональном отношении не имеют с ними почти ничего общего. Таким образом, вместо того чтобы выявлять сайты SNP, которые могут лишь указывать на возможные гены, связанные с патологией, они ищут сами гены.

В 2000 г., когда внимание всех молекулярных генетиков было приковано к соревнованию за первенство в секвенировании генома человека между Крейгом Вентером (J. Craig Venter), основателем компании Celera Genomics, и учеными системы Национальных институтов здравоохранения, Хоббс и Коэн спокойно работали над проектом Dallas Heart Study, целью которого было выяснение природы ишемической болезни сердца (ИБС). Коэн, физиолог из Южной Африки, уже много лет исследовал метаболизм холестерина (его синтез и расщепление). Хоббс, работающая сейчас в Медицинском институте Говарда Хьюза в Далласе, проводила свои исследования в лаборатории Майкла Брауна (Michael S. Brown) и Джозефа Голдштейна (Joseph L. Goldstein). В 1985 г. эти биологи получили Нобелевскую премию за работы по изучению метаболизма холестерина, послужившие основой для создания хорошо известного теперь класса лекарственных веществ – статинов, которые понижают уровень холестерина в крови.

Хоббс и Коэн использовали подход, в корне отличающийся от всех других, принятых в геноми-

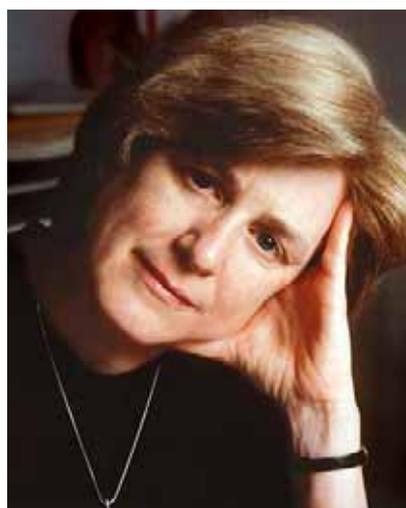
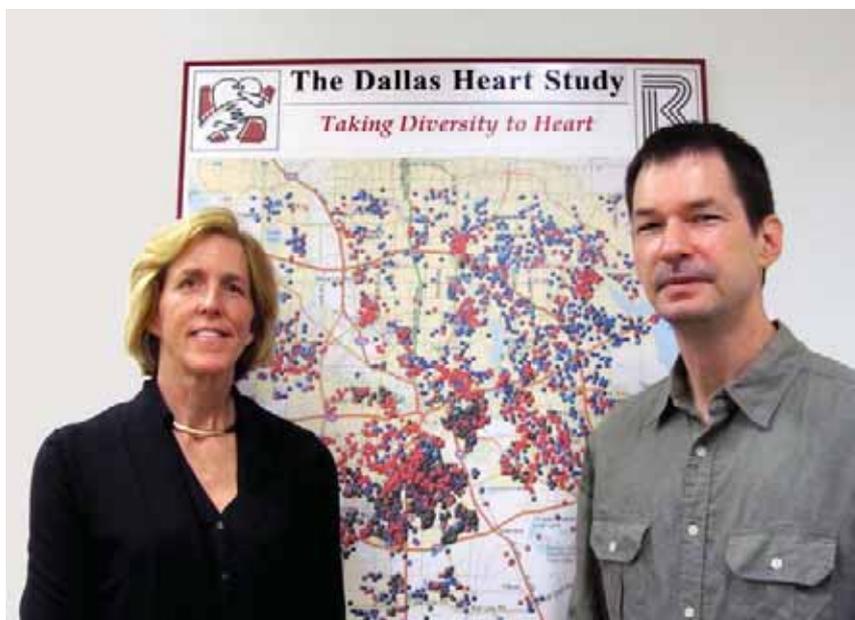
ке. Они начали с другого конца: отобрали 3,5 тыс. жителей Далласа (половина из них были афроамериканцы) и подвергли их тщательному обследованию. Их интересовали в первую очередь не особенности генома испытуемых (хотя образцы ДНК тоже были взяты), а множество факторов, которые могли иметь отношение к развитию ишемической болезни сердца: биохимические показатели крови (в том числе содержание холестерина), особенности метаболизма, жировой обмен, работа сердца, состояние артерий, факторы окружающей среды. В ходе двухгодичных наблюдений была получена обширная база данных для каждого испытуемого – то, что в генетике называется фенотипом.

Затем были отобраны пациенты с серьезными отклонениями показателей – в первую очередь с крайне высоким или крайне низким уровнем липопротеинов высокой плотности (ЛПВП, «хороший» холестерол) или липопротеинов низкой плотности (ЛПНП, «плохой» холестерол). Как отмечали Хоббс и Коэн в своей статье в *Science*, опубликованной в 2004 г., их интересовали прежде всего пациенты с очень низким уровнем ЛПВП в крови – этот показатель свидетельствует о высоком риске развития сердечно-сосудистых заболеваний. Они знали о существовании трех генов, которые отвечают за редкую форму нарушения метаболизма холестерина, и провели сравнительный анализ их нуклеотидной последовательности у пациентов с очень низким и высоким уровнем ЛПВП, а кроме того показали, что мутации в упомянутых генах существенным образом влияют на понижение уровня ЛПВП в популяции в целом.

В 2005 г. Хоббс и Коэн занялись испытуемыми с очень низким уровнем ЛПНП. И здесь их ожидало важное открытие: проанализировав нуклеотидную последовательность гена PCSK9, участвующего в метаболизме холестерина, они обнаружили, что мутации, которые заставляют ген «замолчать», при-

## РАЗНЫЕ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Среди наиболее известных специалистов, занимающихся выяснением генетических основ распространенных сложных заболеваний, – Фрэнсис Коллинз (фото справа). Он возглавляет систему Национальных институтов здравоохранения и выступает как горячий сторонник гипотезы «часто встречающиеся генные варианты / распространенные заболевания». Противоположной точки зрения придерживается Мэри-Клэр Кинг (фото внизу справа) из Вашингтонского университета. Она полагает, что гораздо больший смысл имеет поиск редких генных вариантов, и ссылается на работы Хелен Хоббс и Джонатана Коэна (фото внизу слева), которые как раз этим и занимаются. Кинг считает, что их подход может служить ориентиром в поисках генетических основ наиболее распространенных заболеваний



водят к понижению уровня ЛПНП. Обработка данных по популяциям из Миссисипи, Северной Каролины, Миннесоты и Мэриленда, собранных за 15 лет, показала, что у афроамериканцев с мутацией в гене PCSK9 уровень ЛПНП снижен на 28% и, что самое удивительное, риск развития ишемической болезни сердца меньше на 88%. У представителей белой расы эти же показатели составили соответственно 15 и 47%. Вряд ли найдется хотя бы одна группа генетиков, которой удалось идентифицировать гены с таким отчетливо выраженным влиянием на риск развития како-

го-либо заболевания. Фармацевтические компании уже начали тестирование веществ, которые включают ген PCSK9 или влияют на механизм действия его продуктов. PCSK9 – это сегодня главная мишень для подавляющего их большинства.

Как только стало ясно, что гены, идентифицированные в соответствии с гипотезой распространенных генных вариантов, вносят лишь небольшой вклад в патогенез, а подход Хоббс и Коэна уже показал свою эффективность, Дэвид Голдстейн и Элизабет Сирулли (Elizabeth T. Cirulli), тоже работающая в Университете Дьюка,



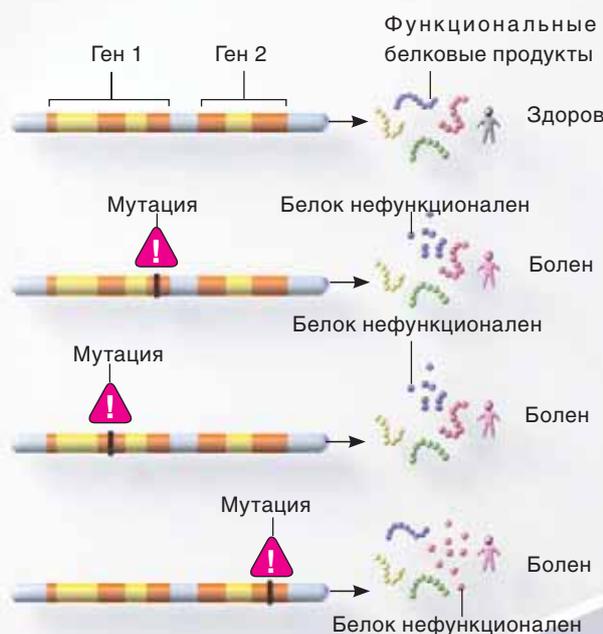
## ОБ АВТОРЕ

**Стивен Холл** (Stephen S. Hall) пишет об исследовании генома человека уже более 20 лет. Он широко известен как автор статей и книг о новейших открытиях в разных областях биологии.

## ЧТО ДАЛЬШЕ?

Среди ученых, которые занимаются поисками корреляции между специфическими изменениями в геноме и развитием наиболее распространенных заболеваний, все больше тех, кто склоняется к отказу от масштабного статистического анализа часто встречающихся SNP-сайтов. Основанием для этого служит неинформативность такого подхода с точки зрения оценки риска патологий

### ПОИСКИ РЕДКИХ ГЕННЫХ ВАРИАНТОВ



Существует мнение, что редкие генные варианты вносят больший вклад в риск того или иного заболевания, чем варианты, сцепленные с часто встречающимися SNP-сайтами. Даже если причина патологии у каждого из заболевших – это уникальная редкая мутация, не исключено, что многие из таких мутаций влияют на гены, чьи белковые продукты работают взаимосвязанно, обеспечивая выполнение какой-либо важной для организма функции. Один из способов идентификации редких мутаций предполагает секвенирование всех белок-кодирующих участков ДНК (экзонов) и сравнительный анализ результатов, полученных для больных и здоровых индивидов (схема слева). Этот подход, называемый секвенированием экзонов, уже используется в нескольких лабораториях

### ЗА ПРЕДЕЛАМИ ГЕНОВ

Поиски SNP-сайтов и редких генных вариантов ограничивались секвенированием белок-кодирующих участков ДНК. Но на выработку генных продуктов, следовательно, и на развитие патологии могут влиять и другие факторы, не связанные с изменениями нуклеотидной последовательности геномной ДНК. Два таких случая представлены на схеме справа



Синтез белков (голубой цвет) осуществляется при участии фермента полимеразы. Сначала на одной из цепей ДНК синтезируется молекула матричной РНК (мРНК; процесс, называемый транскрипцией), а затем на белок-синтезирующей клеточной «фабрике» – рибосоме – на мРНК как на матрице образуется белок (процесс, называемый трансляцией). Если ген несет мутацию, то мутантными будут также соответствующие мРНК и белок

Короткая молекула РНК, транскрибируемая с участка ДНК, который не кодирует никакого белка (фиолетовая цепь), может блокировать трансляцию, присоединившись к комплементарному участку мРНК

Повлиять на транскрипцию могут изменения химических групп (например, метильной группы), связанных с молекулой ДНК. Эти изменения могут передаваться от поколения к поколению через клетки зародышевой линии и влиять на вероятность развития патологии

предложили расширить круг поисков важных в медицинском отношении редких генных вариантов.

В частности, они сочли перспективным секвенирование и сравнение целых «экзомов» в ДНК тщательно отобранных людей с определенным фенотипом. Экзом – это набор белок-кодирующих сегментов ДНК (экзонов) вместе с прилегающими к ним регуляторными участками; он не включает сегменты, разделяющие экзоны или гены. Кроме того, Сирулли и Голдстейн предлагают уделить особое внимание семействам, члены которых страдают одним и тем же заболеванием или имеют какой-нибудь необычный признак, и попытаться найти у них редкие генные варианты. Такие исследования уже проводятся в нескольких лабораториях. Секвенирование экзонов – это некий промежуточный этап. Его имеет смысл пройти, не дожидаясь разработки дешевых общедоступных методов секвенирования целых геномов, на что может уйти от трех до пяти лет.

### Что же такое ген?

Становится все более очевидно, что патогенез заболеваний человека по своей сложности далеко превосходит то, что могут дать для его выяснения секвенирование ДНК и исследование белков. Традиционная генетика, по мнению многих, не способна уловить все тонкости функционирования генов и их роли в развитии того или иного заболевания. Обширные «пустоты» в геноме, не кодирующие никаких белков и прозванные «мусором», как оказалось, играют важную регуляторную роль. В ДНК есть участки, кодирующие короткие сегменты РНК, которые влияют на экспрессию генов. И, наконец, молекула ДНК содержит химические группы, изменяющие ее нуклеотидную последовательности, – так называемые эпигенетические элементы, которые тоже влияют на экспрессию генов и могут подвергаться изменениям под влиянием окружающей

среды в течение жизни организма-хозяина. Такие изменения даже способны передаваться по наследству.

Короче говоря, дать точное определение гена становится все труднее. То, что прежде казалось незыблемым и однозначным – вот ген, а вот признак, который он определяет, – сегодня переросло в проблему, которую в самом общем виде можно назвать «неклассическим наследованием». Зная нуклеотидную последовательность белок-кодирующего участка ДНК, мы можем лишь предполагать, каким будет соответствующий признак.

Проводя эксперименты на животных, Жозеф Надо (Joseph H. Nadeau), директор по научной работе в Институте системной биологии в Сиэтле, обнаружил более 100 биохимических, физиологических и поведенческих признаков, на которые влияют эпигенетические факторы, причем некоторые измененные признаки передаются через четыре поколения. «Да это же ламаркизм в чистом виде!» – смеясь, заметил он, имея в виду идею французского биолога XVIII в. Жана-Батиста Ламарка о наследуемости приобретенных признаков.

И как бы в доказательство того, что уровень сложности еще не достиг предела, Надо получил экспериментальное свидетельство зависимости функции конкретного гена от совокупности окружающих его генных вариантов – групповой эффект, который вносит постмодернистские черточки в генетическую картину, природы заболевания. «Отсюда следует, – говорит Надо, – что некоторые распространенные заболевания берут начало от очень большого числа генов, чей вклад может зависеть от того, какие генные варианты содержатся в геноме данного человека». Так, присутствие одного варианта может нивелировать эффект другого гена данной группы. «Я думаю, что подобный необычный тип наследования распространен более широко, чем казалось ранее», – заявил Надо.

Как скоро идеи Надо скажутся на биомедицинских исследова-

## Следует признать, что дать точное определение гена человека становится тем труднее, чем глубже проникают исследователи в тайну генома

ниях, неясно. А тем временем на сцену выходит новое поколение быстродействующих недорогих секвенаторов – и, возможно, скоро дебаты по поводу значимости для медицины редких и распространенных генных вариантов станут достоянием истории. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская



**Смертельный груз.** Комар *Anopheles* – переносчик самого опасного вида возбудителя малярии у человека. Он преобладает в Западной и Центральной Африке

# КАК ИЗБАВИТЬСЯ ОТ ПАРАЗИТА?

Принципиально новая противомаларийная вакцина, планы иммунизации комаров и другие «фантастические» идеи вселяют надежду на избавление человечества от паразита-убийцы

Мэри Кармайкл

**С**мертельная схватка с непревзойденным по числу жертв инфекционным заболеванием человека – малярией – не прекращается ни на минуту. Где бы ни находился ее возбудитель – в чашке Петри в микробиологической лаборатории в Балтиморе, в слюнных железах выведенного в стенах лаборатории в Сиэтле комара, в крови деревенского жителя в Гане, – всюду его может настичь достойный противник в виде какого-нибудь химического вещества, способный уничтожить самого жестокого за всю историю человечества убийцу. В ходе многолетних экспериментов биологам удалось создать целый ряд вакцин, вселяющих надежду на успех, но лишь одна из них недавно прошла все стадии клинических испытаний. Если она окажется хоть в какой-то степени эффективной на практике, то спасет жизни миллионов людей, а ее разработчики станут достойнейшими кандидатами на роль нобелевских лауреатов. Вакцина будет применена для иммунизации жителей Африки в 2015 г. «Если все пройдет так, как задумано, то через пять лет мы приступим к массовым прививкам детей в возрасте от шести до 12 недель, – го-

ворит Джо Коэн (Joe Cohen), руководитель группы ученых, создавших наиболее перспективную вакцину. – Это грандиозное достижение!» Но почему же в таком случае мы не слышим хвалебных отзывов со стороны Регины Рабинович (Regina Rabinovich), руководителя одной из крупнейших в мире программ по созданию противомолекулярных вакцин, спонсируемой фондом Билла и Мелинды Гейтс? Спросите ее об успехах, которых достигли инфекционисты в этой области, и она затрунит с ответом. «Не-

которые вещи заслуживают внимания», – пожалуй, самое оптимистичное, что можно от нее услышать. Ее скептицизм не беспочвен. Ко всем трудностям, которые приходится преодолевать разработчикам вакцин, сегодня добавилась еще одна. Чем ближе вы находитесь к цели, тем больше усилий необходимо прилагать, чтобы не обмануться в своих ожиданиях. «Маларийное сообщество» слишком хорошо знает, как легко надежда сменяется разочарованием. В 1960–х гг. ценой громадных

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- История создания противомаларийной вакцины – цепь сплошных поражений. Однако сегодня ситуация выглядит не столь удручающе: с помощью новых технологий разработаны перспективные вакцины, которые, возможно, обеспечат стойкий иммунитет к малярии.
- Зимой 2010 г. закончится последняя стадия клинических испытаний вакцины, работа над которой велась с 1980–х гг. Есть надежда, что с ее помощью заболеваемость малярией в самой опасной ее форме снизится вдвое.
- Тем временем не прекращается работа над созданием вакцин совсем другого рода, например вакцин на основе ослабленных паразитов, культивируемых в теле комара.
- Поскольку борьба с малярией была тяжелой и много раз приводила к разочарованию и разработчиков, и общественности, нужно позаботиться о том, чтобы не вселять в людей необоснованные надежды. Несбывшееся легко воспринимается как несбыточное, а у исследователей всегда должен быть шанс на то, что они смогут продолжить работу.

## ТРИ ОБНАДЕЖИВАЮЩИЕ СТРАТЕГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВАКЦИНЫ

История создания противомаларийной вакцины насчитывает не один десяток лет, и до недавнего времени усилия биологов оказывались тщетными. Жизненный цикл паразита так сложен, что выбрать оптимальную стратегию борьбы с ним очень трудно. В последние годы, однако, ситуация изменилась. Появились новые идеи и технологии, а вслед за ними – и финансирование. Впервые за все время одна из вакцин дошла до последней фазы клинических испытаний, и более десятка вакцин-кандидатов находятся на стадии разработки. На этой схеме представлены три новых подхода к созданию вакцин

Illustration by Peter and Maria Hoey

### БЛОКИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА

Вакцина побуждает организм человека к выработке антител. Если они попадают в кишечный канал комара, который укусил иммунизированного человека, то блокируется взаимодействие гаметоцитов со специфическим ферментом, необходимым для выживания паразита. Если такой «вакцинированный» комар укусит другого человека, то инфицирование не произойдет, поскольку насекомому нечего будет передать жертве

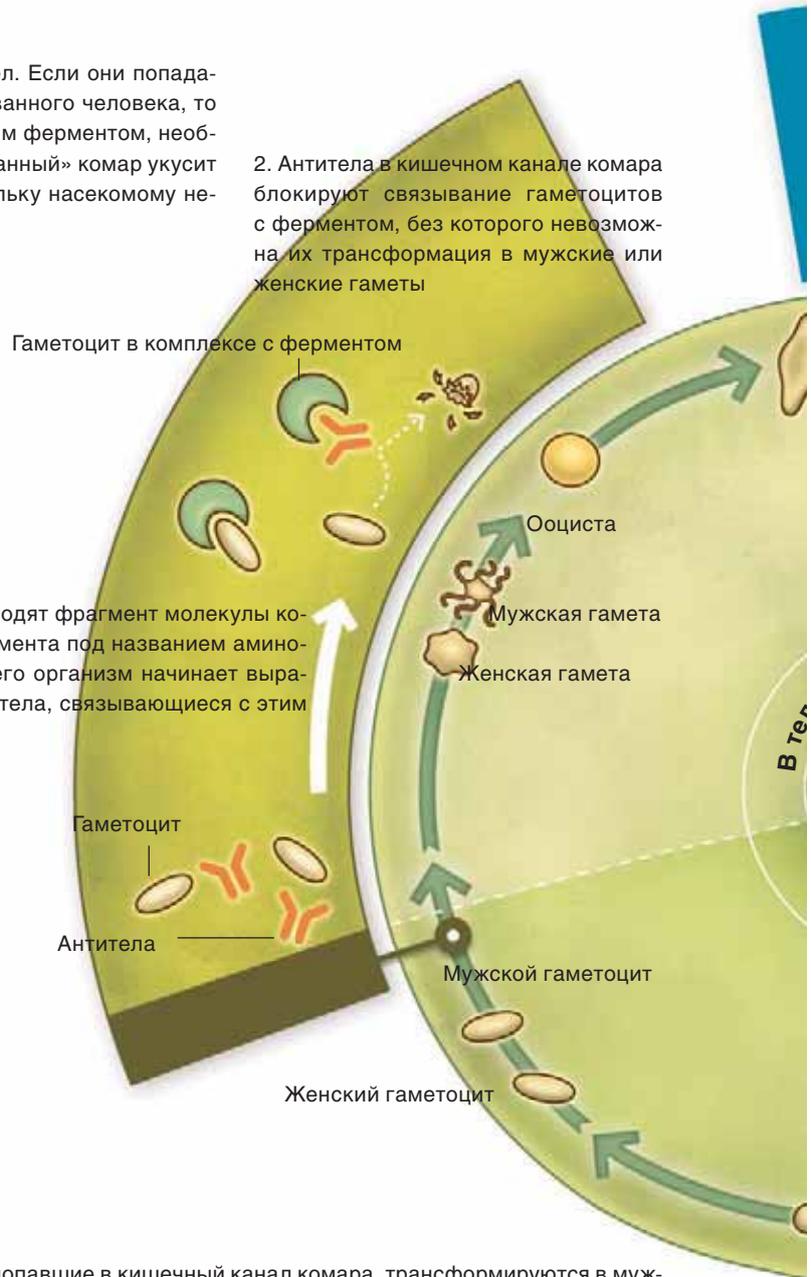
2. Антитела в кишечном канале комара блокируют связывание гаметоцитов с ферментом, без которого невозможна их трансформация в мужские или женские гаметы

1. Человеку вводят фрагмент молекулы комариного фермента под названием аминоксипептидаза, и его организм начинает вырабатывать антитела, связывающиеся с этим ферментом

### КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ОСЛАБЛЕННОГО ПАРАЗИТА

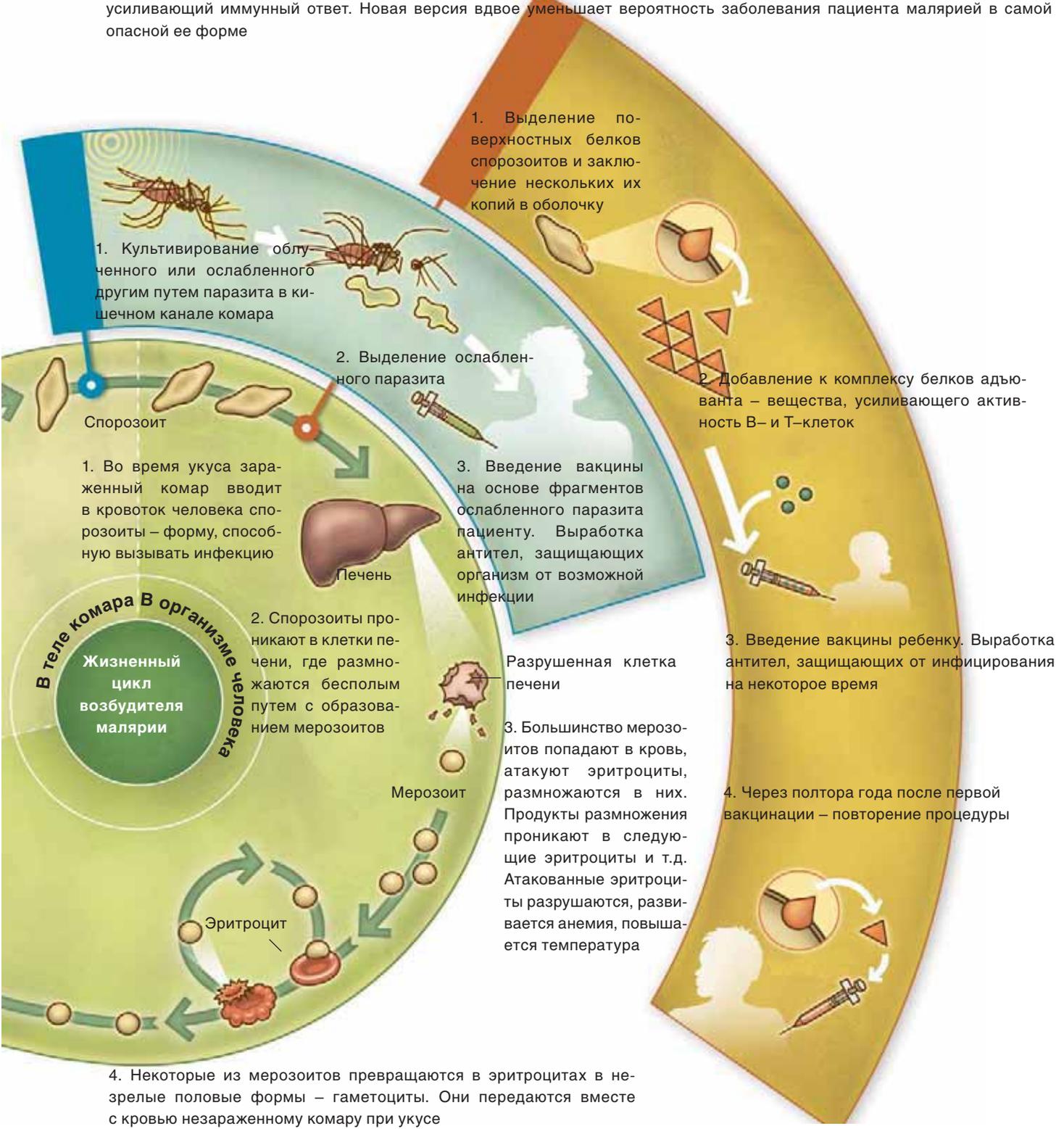
При создании вакцин часто используют в качестве основы ослабленного возбудителя. Его вводят в тело человека, с тем чтобы в нем начали вырабатываться нужные антитела. Именно такой подход применили в компании BioMed в Сиэтле. Паразиты были облучены на стадии спорозоитов, с тем чтобы предотвратить их размножение, и их фрагменты введены в тело пациента. Предварительные испытания показали, что вакцина обладает стопроцентной эффективностью

5. Гаметоциты, попавшие в кишечный канал комара, трансформируются в мужские или женские гаметы. В результате их слияния образуется ооциста. Ее ядро многократно делится, протоплазма разделяется на большое количество веретенообразных телец – спорозоитов. Последние переходят в слюнные железы комара. Цикл завершается



**УСИЛЕНИЕ ТРАДИЦИОННОЙ ВАКЦИНЫ**

Вакцина компании GlaxoSmithKline против малярии, вызываемой штаммом Plasmodium falciparum, прошла последнюю стадию клинических испытаний. Первые ее варианты оказались неудачными, и тогда разработчики применили адъювант, усиливающий иммунный ответ. Новая версия вдвое уменьшает вероятность заболевания пациента малярией в самой опасной ее форме

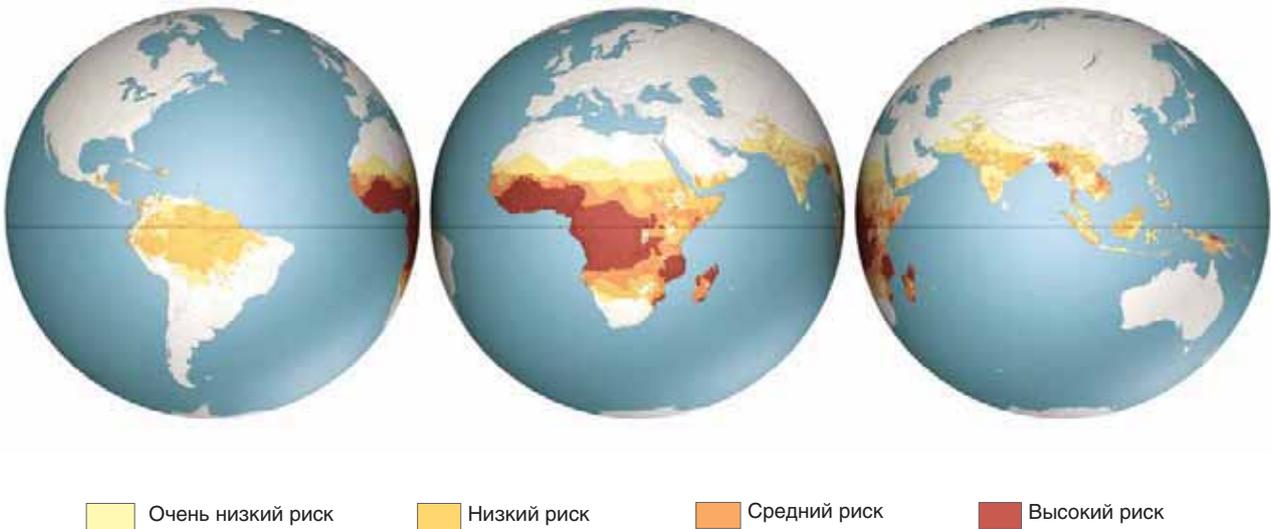


4. Некоторые из мерозоитов превращаются в эритроцитах в незрелые половые формы – гаметоциты. Они передаются вместе с кровью незараженному комару при укусе

# ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

## МАЛЯРИЯ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ: ЭНДЕМИЧНЫЕ РЕГИОНЫ

Любой масштабной антималярийной кампании, основанной на вакцинации населения, должно предшествовать картирование регионов, где заболеваемость особенно высока. Усилиями Оксфордского университета, Института медицинских исследований в Кении и Wellcome Trust собраны данные о популяции паразитов по тысячам регионов и получена оценка риска для проживающих там людей. На приведенных картах указаны регионы, подверженные нашествию наиболее агрессивной формы паразита – *Plasmodium falciparum*. Другая разновидность, *P. vivax*, обычно менее опасна, но тоже вызывает серьезное заболевание. Ее распространенность выше, число инфицированных – 2,85 млрд человек. Риск определяется как доля (в процентах) жителей, пораженных паразитом, независимо от того, больны они или нет



усилий удалось искоренить болезнь в одних регионах и существенно снизить заболеваемость в других. Но этот успех в конце концов привел к катастрофе. Малярия все меньше воспринималась как серьезная угроза, и работники систем здравоохранения «забыли» о ней. А тем временем обнаружилось, что основное орудие борьбы с ней, дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) – токсичное вещество, и его применение тут же запретили. Малярия вспыхнула с новой силой. Все это время никаких работ по созданию противомаларийных вакцин не велось, и человечество вновь оказалось один на один со смертельно опасным врагом.

Вызывает удивление, что так долго малярия оставалась вне сферы интересов многочисленных фондов. С другой стороны, не так уж трудно понять, почему инфекционисты утратили всякие надежды

на успех в создании вакцины и сложили оружие. Возбудитель малярии – что называется, крепкий орешек. У него совершенно необычный жизненный цикл. Он начинается в слюнных железах комара – переносчика паразита, проходит через кровоток человека, его печень, где размножается, затем снова проходит через кровоток и завершается в теле другого комара. Все подробности этого цикла были выяснены сравнительно недавно. В 1980-х гг. небольшая группа биологов из компании GlaxoSmithKline (GSK) всерьез занялась созданием противомаларийной вакцины на основе белка наиболее распространенного и опасного штамма паразита, *Plasmodium falciparum*. Попытка оказалась неудачной, и малярия продолжала свирепствовать.

Что касается конечной цели – разработки эффективной вакцины, – то ситуация с тех пор поч-

ти не изменилась. Зато появилось множество новых идей, а также финансовая поддержка. Так, в 1994 г. фонд Гейтсов выделил на эти цели \$4,5 млрд, а недавно – еще \$10 млрд. На стадии разработки находятся десятки проектов. Исследователи из GSK все это время продолжали совершенствовать свой продукт, созданный в 1980-х гг. Доказана безопасность вакцины, проводятся ее масштабные рандомизированные клинические испытания в 11 регионах Африки. Сегодня это единственная вакцина, преодолевшая так много препятствий, но есть и другие кандидаты, с успехом прошедшие предварительную проверку.

Интерес представляют и новые подходы к созданию вакцин. Так, в тело комара-переносчика вводят генетически модифицированного ослабленного паразита, через некоторое время извлекают его из

слонных желез комара и готовят вакцину. Еще один, весьма необычный подход – иммунизация комаров с использованием организма человека в качестве источника антител. «Речь идет о пассивной иммунизации насекомых, – говорит Роэл Дингласан (Rhoel Dinglasan), один из инициаторов разработки подхода. – Это в чем-то безумная идея». Еще бы не безумная, если результатом многолетней кропотливой работы может оказаться лишь очередная «инновация».

Но другого пути нет. По словам Рабинович, «пришло время открыто смотреть трудностям в лицо, а не прятать голову в песок».

## Да, работает. Но насколько хорошо?

Кандидат в вакцины под названием RTS,S компании GSK, как и прежде, создан на основе того же белка паразита *P. falciparum*. Но теперь у него есть помощник. Если бы в 1980-х гг. надежды разработчиков вакцины оправдались, то одного этого белка – компонента веретенообразных телец под названием «спорозоиты» (они образуются в теле инфицированного комара) – было бы достаточно для того, чтобы вызвать иммунный ответ у человека. Однако иммунная система не отреагировала должным образом, и пришлось потратить 20 лет на усовершенствование вакцины. Чтобы усилить иммунную реакцию, множество молекул белка-антигена были заключены в искусственную оболочку. «Идея состояла в том, чтобы получить конструкцию, более похожую на реальный патоген», – поясняет Коэн, руководитель группы разработчиков RTS,S.

Иммунный ответ на модифицированную вакцину стал действительно более сильным, но не до такой степени, чтобы защитить организм в полной мере. Нужен был еще один «ускоритель» (адъювант). Им стало химическое соединение, в присутствии которого число В-клеток, продуцировавших антитела,

увеличивалось. Адъювант «вовлек в игру» и Т-клетки, участвующие в самых разных способах защиты организма от болезней.

В полном комплекте описанная вакцина применяется на последней стадии испытаний как составная часть самого масштабного тестирования противомаларийных вакцин за всю их историю. Вакцину уже начала получать группа из 16 тыс. детей: в одной подгруппе собраны младенцы от шести до 12 недель, в другой – дети чуть постарше, от пяти до 17 недель. К декабрю 2010 г. курс инъекций завершится; обработка результатов должна закончиться к середине 2011 г. Если исход удовлетворит разработчиков, то настанет время посмотреть, как поведет себя вакцина в реальной жизни.

Вакцина должна предотвращать гибель сотен тысяч людей – конечно, при условии массовости мероприятий. Здесь просматриваются две основные проблемы. Первая из них – дороговизна. И разработчики RTS,S, и ее распространители рассчитывают на прибыль в сотни миллионов долларов, так что вакцина может оказаться не по карману развивающимся странам. Однако GlaxoSmithKline утверждает, что установленные ею цены будут

максимально низкими с расчетом на прибыль всего 5%; компания надеется также, что ей удастся договориться с международными консорциумами и такими организациями, как UNICEF и Global Alliance for Vaccines and Immunization, о покупке вакцины и распределении ее по тем странам Африки, где ситуация с малярией особенно серьезна.

Вторая проблема заключается в следующем. Маловероятно, что RTS,S будет столь же эффективной, как большинство вакцин для других заболеваний. В последнем случае обычное необходимое условие для получения разрешения на широкое использование – 80-процентная эффективность. Пока же, судя по результатам испытаний на стадии II, RTS,S снижает заболеваемость вдвое. Большинство вакцин с такой характеристикой никогда не были допущены к применению. Но малярия – жестокий убийца с таким большим стажем, что 50-процентная эффективность вакцины против нее – уже большое достижение. Это позволит ежегодно спасать 500 тыс. жизней.

Наиболее восприимчивы к малярии в самой тяжелой ее форме маленькие дети. У них, в отличие от взрослых, отсутствует имму-



## ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

### ПЛАН В: АЛЬТЕРНАТИВЫ ВАКЦИНЕ

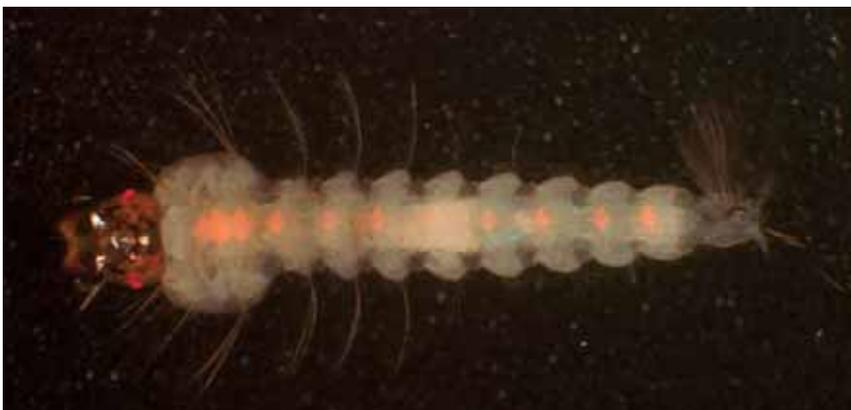
Все созданные сегодня противомалерийные вакцины не работают должным образом, и пока шли поиски эффективных вакцин, работники систем здравоохранения разных стран пытались найти альтернативные способы борьбы с малярией. К сожалению, все они – будь то противомоскитные сетки или медикаментозные средства – обеспечивали лишь временную защиту



ДДТ, токсичное химическое вещество, вновь применяется для обработки помещений, где вреда от него гораздо меньше, чем было когда-то при опрыскивании посевов



Противомоскитные сетки, отпугивающие комаров, доказали свою эффективность как средство для уменьшения заболеваемости малярией



Получены генетически модифицированные личинки комара. Развившиеся из них насекомые не способны к передаче паразита. Если такие комары вытеснят из окружающей среды комаров дикого типа, малярия, возможно, уйдет со сцены

JOHN STANMEYER VII (top); PER-ANDERS PETTERSSON Getty Images (middle); COURTESY OF M. RIEHLE University of Arizona (bottom)

нитет к заболеванию. У взрослых же он вырабатывается в результате многократных комариных укусов, и болезнь, если она возникает, имеет не столь угрожающий характер. Ребенок, которому сделана прививка, тоже может заболеть, но вероятность фатального исхода будет очень мала. Всемирная организация здравоохранения и UNICEF уже проводили иммунизацию африканских детей в возрасте трех месяцев от таких заболеваний, как полиомиелит и дифтерия. В этом же возрасте предполагается делать прививки и от малярии. «Мы хотим, чтобы противомаларийная вакцинация была включена в систему как составная ее часть», – говорит Коэн. Это ускорит вхождение новой вакцины в практику и снизит стоимость процедуры, поскольку не нужно будет создавать дополнительную систему распространения препарата. Далее он замечает: «Мы должны быть уверены, что все подготовительные стадии пройдены. Наша работа и без того не обещает быть легкой. Неизвестно, в частности, через какое время ребенку понадобится повторная вакцинация». С самой вакциной ситуация тоже не безоблачна. Во-первых, RTS,S предназначена для борьбы только со штаммом *P. falciparum*, наиболее распространенным в Африке. В других регионах циркулируют другие штаммы. Во-вторых, 50-процентная эффективность вакцины означает, что об искоренении заболевания речи быть не может. Для окончательной победы над малярией вакцину RTS,S потребуются снова усовершенствовать тем или иным способом. Иммунологи из GSK разрабатывают сейчас стратегию двухступенчатой вакцинации, которая хорошо зарекомендовала себя во время клинических испытаний вакцины против СПИДа. Ее предполагается применять после разработки нового варианта RTS,S. На обоих этапах разными способами будет задействован белок спорозоитов, что, возможно, позволит

усилить иммунный ответ. Пока все инновации будут апробироваться на лабораторных животных. И если работа по повышению эффективности RTS,S продлится столь же долго, как и создание первого варианта вакцины, пройдет еще 15 лет, прежде чем мы получим полноценную защиту от малярии.

### Комары как природные лаборатории

Поговорим теперь о другом хорошо известном способе борьбы с малярией – самоиммунизации. Прежде всего создайте (или отыщите) популяцию комаров, зараженных ослабленным штаммом паразита. Теперь пусть вас укусят тысяча или более таких насекомых. С кровью паразиты попадут в печень, но вместо того чтобы развиваться до взрослой стадии и переходить в кровотоки, как это бывает с обычными возбудителями малярии, они здесь же и погибнут. Тем временем организм выработает антитела против паразита, и он в дальнейшем не будет представлять для вас никакой угрозы. Такой способ придумали в 1970-х гг. исследователи из ВМС США, а через 20 лет его взяли на заметку несколько иммунологов. Двое из них – Штефан Каппе (Stefan H. Kappe) из компании BioMed в Сиэтле и Стивен Хофман (Stephen L. Hoffman), генеральный директор фирмы Sanaria в Роквилле – создали лаборатории по разведению малярийных комаров. Сотрудники, максимально защищенные от их укусов, выделяют ослабленные штаммы паразитов из слюнных желез насекомых и хранят их в специальном растворе. Возможно, штаммы понадобятся для создания вакцин.

Генетически модифицированных паразитов можно получить двумя способами. В BioMed из их ДНК удаляют гены, обеспечивающие их размножение в тканях печени человека. «Они проникают в печень из кровотока, но не могут выйти из нее», – говорит Каппе.

Недавно его группа инактивировала всего два гена в ДНК парази-

та, которые отвечают за образование мембраны, окружающей его во время пребывания в клетках печени. Мембрана каким-то образом препятствует распознаванию паразита зараженными им клетками. Вместо того чтобы обеспечивать их существование и развитие, клетки самоуничтожаются. В опытах на многих сотнях мышей, в том числе и генетически модифицированных, содержащих клетки печени человека, Каппе с сотрудниками показали, что его вакцина защищает животных от малярии на 100%. При этом никакого ущерба печени вакцина не причиняет. В организм испытуемого вводится 10 тыс. паразитов, и даже если все они попадают в печень, число погибших клеток не идет ни в какое сравнение с числом гипатоцитов, составляющих данный орган (следует учесть, что клетки печени способны к регенерации).

Весной 2011 г. 20 испытуемых, ранее многократно вакцинированных препаратом Каппе, подвергнутся укусам в руку пяти комаров. При этом все насекомые относятся к группе, способной вызывать малярию в форме, требующей лечения. Через неделю, в течение которой пациенты будут вести обычный образ жизни, они пройдут тщательное медицинское обследование. Если же в крови появятся паразиты, испытуемые пройдут курс терапии противомаларийными препаратами. Подобная методика применима только в тех случаях, когда вы имеете дело с излечимыми заболеваниями. Так, ее ни в коем случае нельзя использовать в случае СПИДа.

Второй способ получения ослабленных малярийных паразитов – облучение. Такой подход использует Хофман, директор фирмы Sanaria. По его мнению, облучение имеет ряд преимуществ. Под его воздействием в ДНК паразита возникает множество повреждений в разных сайтах. В результате он утрачивает способность размножаться, даже если попадает в печень. Хофман, однако, понимает, что облучение не гарантирует

### Вакцина, защищающая комаров, а не людей (по крайней мере, не напрямую), ломает наши традиционные представления о способах иммунизации против малярии

выведение из строя целевых генов, и параллельно проводит эксперименты того же рода, что и Коппе.

Цена таких испытаний знакома ему слишком хорошо. Летом 2010 г. во время клинических испытаний в фазе I вакцины на основе облученных спорозитов он потерпел серьезное поражение. FDA разрешила ему провести тестирование вакцины на 100 добровольцах. В то время Хофман был уверен, что при укусе комар вводит в тело человека от пяти до десяти паразитов. На этой величине основывались все оценки необходимой дозы вакцины. И только потом выяснилось, что на самом деле число паразитов, попадающих в организм, гораздо больше – от 300 до 500! «Таким образом, наша доза была ниже требуемой не менее чем в десять раз! – ужаснулся Хофман. – Это выяснилось, когда испытания были в самом разгаре. Ничего нельзя было сделать». Впрочем, даже в такой ситуации какая-то степень защиты была достигнута.

Хофман, как и Рабинович, остается реалистом. Непродолжительное время он находился в подавленном состоянии, но теперь, получив поддержку многих биотехнологов и специалистов по разработке вакцин, собирается возобновить испытания. Он повысил концентрацию ослабленных паразитов в вакцине и изменил способ ее введения.

#### Иммунологическая противомоскитная сетка

Если так трудно создать эффективную вакцину против малярии традиционными методами, возможно, стоит подумать о вакцинации третьего участника «тройственного союза» – малярийного комара? Любая вакцина должна разрывать цепь переноса возбудителя, и до сих пор одно звено в этой цепи выпадало из поля зрения разработчиков. Мы говорим о том этапе, когда комар, кусая зараженного человека, получает вместе с кровью малярийного паразита и становится его носителем. Если прервать жизненный цикл возбудителя в теле комара, последний не сможет передавать его чело-

веку. За осуществление такой идеи на практике взялся молодой молекулярный биолог Роэл Дингласан из Университета Джонса Хопкинса. Он родился на Филиппинах и знает о малярии не понаслышке. До сих пор он проводил опыты только на лабораторных мышах и в своих высказываниях очень осторожен. «Если метод не будет хорош настолько, как мне этого хотелось бы, я не стану вести себя подобно какому-нибудь автомобильному дилеру», – заявляет Дингласан. Но если он сработает, это будет настоящей революцией в борьбе с малярией. Как только малярийный плазмодий попадает в тело комара, он начинает «обустраиваться» в кишечном канале насекомого, привлекая специфический фермент аминокептидазу, вырабатываемую в тканях организма-хозяина. Если в течение суток этот защитный фермент не найдется, то плазмодий будет переварен, и комар не превратится в инкубатор для паразитов. Когда комары получают вместе с кровью человека антитела к аминокептидазе, они лишаются защиты, поскольку места связывания в молекуле фермента теперь занимают антитела. Дингласан выделил из тела комара фермент, «отрезал» от него фрагмент вместе с сайтом связывания паразита и ввел его мышам, чтобы вызвать образование антител. Комары, атакующие такую мышь, получают вместе с кровью антитела, которые, как оказалось, не разрушаются в их кишечном канале. По существу, происходит иммунизация насекомых-переносчиков, паразит погибает в их теле, которое перестает служить резервуаром инфекции. Если вся эта цепочка сработает так же хорошо в случае человека, то вот вам и надежная защита от малярии – что-то вроде иммунологической противомоскитной сетки. Реализация данного подхода, конечно, сопряжена с массой проблем, и первая из них – где взять добровольцев, которые согласились бы участвовать в опытах, когда иммунизируют не их, а кома-



#### ОБ АВТОРЕ

**Мэри Кармайкл (Mary Carmichael)** – обладатель различных наград в области журналистики, регулярно публикует в Newsweek статьи, посвященные здравоохранению.

ров. Конечно, если вокруг нас будут виться иммунизированные комары, малярия в конце концов пойдет на спад, но прежде чем это случится, масса людей должна будет пройти вакцинацию для выработки антител к аминокептидазе. У кого-то из них обнаружится непереносимость вакцины, кто-то почувствует себя плохо и т.д. В каком-то смысле здесь нарушается первая заповедь врача: «Не навреди!» А между тем случаи вакцинации с целью защиты других людей известны. Так, нескольким лицам мужского пола была сделана прививка против папилломавируса человека. Вероятность, что они подхватят вирус, у таких мужчин снизилась, но, получив вакцину, они к тому же защитили своих сексуальных партнеров. В долгосрочной перспективе вакцина, блокирующая перенос возбудителя, может стать даже более эффективной, чем традиционная вакцина, когда происходит прямая иммунизация человека. «Мне приходилось слышать об отсутствии явных преимуществ моего подхода. На самом деле они есть, но проявляются не сразу». Помимо всего прочего, «аминокептидазный подход» обладает преимуществом, которого нет ни у одной стратегии получения вакцин. Что касается технической стороны дела, то она, пожалуй, уступает обычным вакцинам (трудоемкость, дороговизна). Зато целевой антиген имеется у всех 40 видов комаров – переносчиков малярии, так что вакцина будет действенной для каждого из них. Да и антитела, по-видимому, «работают» как в отношении *P. falciparum*, наиболее распространенного в Африке малярийного паразита, так и в отношении *P. vivax*, чаще всего встречающегося в Азии. Против *P. vivax* вакцина RTS,S бесцельна, поскольку изготавливается на основе другого белка. Тестирование вакцины Дингласана, проведенное только в отношении *P. falciparum*, показало ее стопроцентную эффективность, а в отношении обоих упомяну-

тых паразитов – 98-процентную. Это важно с точки зрения практического применения препарата. «Готовить отдельную вакцину для каждой разновидности паразита – очень дорогое мероприятие, – поясняет Дингласан. – Косельки спонсоров – Уоррена Баффета и Билла Гейтса – не бездонны». Пройдет еще немало времени, пока Дингласан получит реальную финансовую поддержку. Сегодня он находится на подготовительной стадии исследований: ему еще нужно оценить, какое количество антигена может получить его лаборатория. По его мнению, это станет известно в феврале 2011 г., и тогда наступит время подумать о практических вещах. Будет ли вакцина применяться совместно с RTS,S? Сколько антител должен получить комар во время укуса, чтобы произошла его иммунизация? Сколько времени займет переход от опытов на мышах к клиническим испытаниям? Но что реально нужно сделать, чтобы избавиться от малярии раз и навсегда? Даже не располагая эффективнейшей вакциной, заболеваемость можно контролировать с помощью противомоскитных сеток и медицинских препаратов – хлорокина, артемизинина и маларона. Но искоренить болезнь такими способами нельзя. Противомоскитные сетки действуют ограниченное время: у комаров развивается резистентность к инсектицидам, которыми сетки обработаны, а люди не могут находиться под ними все время. «История с сетками весьма поучительна: если бы они применялись в строго контролируемых условиях, распространение инфекции можно было бы удерживать, – говорит Дингласан. – Но людям не свойственно строго и неуклонно следовать инструкциям. Я жил в стране, где малярия – проблема номер один. Большинство детей действительно спят под сетками. Взрослые же по вечерам собираются на улицах или в разного рода питейных заведениях, а алкоголь привлекает комаров». Об-

работанные инсектицидами сетки защищают от насекомых только в помещениях, но стоит выйти за порог – и вы в их власти. Как защитная мера сетки годятся скорее для путешественников, чем для людей, постоянно живущих в эндемичных регионах. Другие способы борьбы с малярийными комарами – осушение мест их вылова и обработка помещений ДДТ – это не радикальные меры. Таким образом, мы опять оказываемся в ситуации, когда выбирать по сути не из чего. Возможно, что-то новое даст исследование генома малярийного паразита и некоторых особенностей генома человека, которые могли бы обеспечивать его устойчивость к малярии. Предлагаются совсем уж фантастические идеи, в частности вытеснение малярийных комаров дикоого типа генетически модифицированными вариантами, неспособными служить инкубаторами для паразита. Важно, чтобы мировое медико-биологическое сообщество настроилось на долгий путь. «От авторитетных людей я слышал, что эффективную вакцину против малярии вряд ли удастся создать при жизни моего поколения. Готовы ли налогоплательщики и спонсоры к столь долгосрочным проектам? Не останутся ли опять жители Африки и Азии один на один со смертельно опасным врагом?» – беспокоится Дингласан. Бесспорно только одно: малярийный паразит все это время будет делать свое дело. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Данаван К. Остановить малярию! // ВМН, № 3, 2006.
- The Fever: How Malaria Has Ruled Humankind for 500,000 Years. Sonia Shah. Sarah Crichton Books, 2010.
- Страница на сайте Центров контроля и предупреждения заболеваний США, посвященная малярии: [www.cdc.gov/malaria](http://www.cdc.gov/malaria). [www.malariainexus.com](http://www.malariainexus.com)

# ФОСФОРНЫЕ ОЗЕРА

Открытые горнорудные разработки во Флориде обеспечивают Соединенные Штаты не только удобрениями, но и химическими отходами

Марк Фишетти

Разработка месторождений фосфатных руд позволяет, с одной стороны, получать вещество, делающее почву более плодородной, а с другой стороны, загрязнять ее побочными продуктами производства. Фосфат аммония – основной компонент удобрений, активно применяется в сельском хозяйстве при выращивании овощей и фруктов. Но при его получении образуется огромное количество отходов, о которых и пойдет речь.

Сырьем для данного производства служит фосфат кальция, добываемый открытым способом в нескольких штатах США. Его превращают в порошок и заливают серной кислотой, чтобы получить фосфорную кислоту, которую затем превращают в фосфат аммония. Получение каждой тонны фосфорной кислоты сопровождается образованием 5 т грязеподобных отходов – фосфогипса. Это бело-серое вещество выделяет в атмосферу радиоактивный газ радон и практически нигде не применяется (его используют крайне редко, например при выращивании арахиса). Большая часть фосфогипса сгребается бульдозерами в гигантские кучи на постоянное хранение; такие «курганы» могут достигать в высоту 60 м и занимать площадь в 160 га и более. Фосфогипсовые горы содержат 400–1200 т воды, которая постепенно просачивается наружу, создавая вокруг небольшие озера голубого или зеленого цвета. Величина pH этих озер колеблется от 1 до 2, т.е. вода сильноокислая. На фотографии показан край одной такой кучи во Флориде и озеро вокруг нее. Флорида производит 75% от всего фосфора, который используется в сельском хозяйстве США, и около 20% от общемирового потребления. В сумме на территории этого штата хранится более 1 млрд т отходов в виде 25 фосфогипсовых гор, и ежегодно туда добавляется еще по 28 млн т. ■

Перевод: Т.А. Митина



# ПЛАСТМАССОВЫЙ ПРИБОЙ

Мелкие фрагменты игрушек, бутылок и упаковок представляют угрозу для жизни в океане

Дженнифер Аккерман

Фотографии Кэри Волински

Сегодня даже школьникам известно, что предметы из пластмассы, миллионы тонн которых выбрасываются ежегодно, в природных условиях сохраняются в течение сотен лет. И все мы слышали об ужасных происшествиях в море: о морских котиках и каланах, запутавшихся и затем задохнувшихся в нейлоновых сетях или пластиковых упаковках из-под пива, или о гибели морской черепахи из-за игрушки или полиэтиленового пакета, попавших в желудок. Фотография, на которой запечатлены пластиковые отходы, собранные в течение часа на берегу бухты вблизи Глостера, штат Массачусетс, заставляет задуматься о еще одной, не менее важной угрозе: мельчайшие фрагменты пластика, накапливающиеся в океане, представляют собой потенциальную опасность для морской флоры и фауны, а также для здоровья людей.

Пластмасса не разлагается микроорганизмами, подобно пищевым отходам и бумаге. Она подвергается медленной «фотодеградации» – под действием ультрафиолетового и теплового излучения Солнца становится хрупкой и распадается на более мелкие фрагменты. Действительно, горсть песка или морская вода, взятые в любом конце Земли,

содержат множество часто невидимых мельчайших частиц. Ученые опасаются вредного влияния пластмассового конфетти на зоопланктон и других животных, находящихся в основании морской пищевой пирамиды, которыми питаются крупные организмы – черепахи, рыбы, птицы. В конце концов, не следует забывать, что конечным потребителем может стать и человек.

Причин для тревоги немало. Кусочки пластика могут заблокировать органы захвата пищи и пищеварительные тракты мелких беспозвоночных. Кроме того, вред здоровью могут нанести химические соединения, вводимые в пластмассу в процессе производства, в частности бисфенол А, оказывающий разрушительное воздействие на эндокринную систему. Более того, плавающие в океане фрагменты пластика действуют как магниты и губки, поглощая токсические вещества, такие как ДДТ, диоксины и ПХБ (полихлорированные бифенилы) и накапливая их в концентрациях, в сотни и миллионы раз превышающих их содержание в морской воде. Многие ученые считают, что необходимо создать такие материалы, которые по окончании срока их службы могут быть переработаны в безвредные. ■

Перевод: А.А. Сорокин

ПОДОБНО КАМНЯМ,  
ПРЕВРАЩАЮЩИМСЯ  
В ПЕСОК

Волны морского прибоя,  
превращающие каменный  
берег в песчаный  
пляж, могут сгладить и за-  
круглить края пластмассо-  
вых обломков и размолоть  
их в мельчайший порошок,  
однако при этом пластик  
никуда не исчезает





### СИРЕНЬИ, ЗАВЛЕКАЮЩИЕ ПТИЦ

Известно, что морские птицы часто подбирают с поверхности моря, принимая за пищу, обломки пластмассы, особенно если те красного цвета. Даже в отдаленных районах ученые находят птиц, например, антарктических прионов (*Pachyptila desolata*) и субантарктических поморников (*Stercorariinae*), проглотивших кусочки пластика

### РАЗРУШАЕТСЯ ВСЕ

Ученые идентифицировали в океане по крайней мере девять типов пластмассовых отходов, от акрила и нейлона до полиэфиров и полипропилена (входят в состав канатов и контейнеров), поликарбоната (твердый пластик, из которого изготавливаются линзы очков) и полистирола (используется при изготовлении пенопласта). Полистирол измельчается в течение года, и даже такой твердый материал, как поликарбонат, фрагментируется в морской воде. И при этом в воду выделяются содержащиеся в них химикаты

# ХАКЕР В ВАШЕМ «ЖЕЛЕЗЕ»

Мало нам бед от программных вирусов – угрозу таят и намеренно поврежденные уже в процессе производства микросхемы

Джон Вильясенор

**В**аш мобильный телефон, надежно работавший до последнего момента, вдруг зависает. Перестает слушаться клавиатура, аппарат прекращает принимать и передавать вызовы и текстовые сообщения. Вы пытаетесь отключить питание, но безуспешно; вынимаете и вновь вставляете аккумулятор, но телефон не включается. Ясно, что это не рядовой сбой. Через какое-то время вы узнаете, что не одиноки в своей беде: неожиданно и необъяснимо перестали работать телефоны у миллионов людей.

Таково одно из вероятных проявлений массовой аппаратной атаки. Подобные атаки становятся возможными из-за растущей сложности интегральных схем, играющих роль мозга во многих устройствах, которыми мы пользуемся ежедневно. Ни одна отдельно взятая группа инженеров не способна осмыслить все детали конструкции микросхем: отдельные части разрабатывают разные группы специалистов, которые могут находиться очень далеко друг от друга. Составные части объединяются, когда на кремниевой пластине формируется микросхема. Сложность конечного продукта делает невозможным его исчерпывающее тестирование. Любая «мина замедленного действия» может оставаться необнаруженной, по-

добно троянскому коню, пока некий фактор, например определенная дата или время, не активирует ее.

Противодействие аппаратным атакам и устранение их последствий более трудоемко из-за их физической природы, чем борьба с «червями» и другими вредоносными программами. Вирус может передаваться от одного устройства другому, но его можно удалить. Последствия аппаратных атак устранимы только путем замены зараженного элемента. По крайней мере пока.

Призрак системных аппаратных атак не дает спокойно спать специалистам по киберзащите. Уязвимо все, в чем есть микропроцессор, т.е. практически почти вся электроника. Интегральные схемы лежат в основе наших систем связи и энергосистем. Они управляют закрылками современных авиалайнеров и антиблокировочными системами тормозов в наших ав-

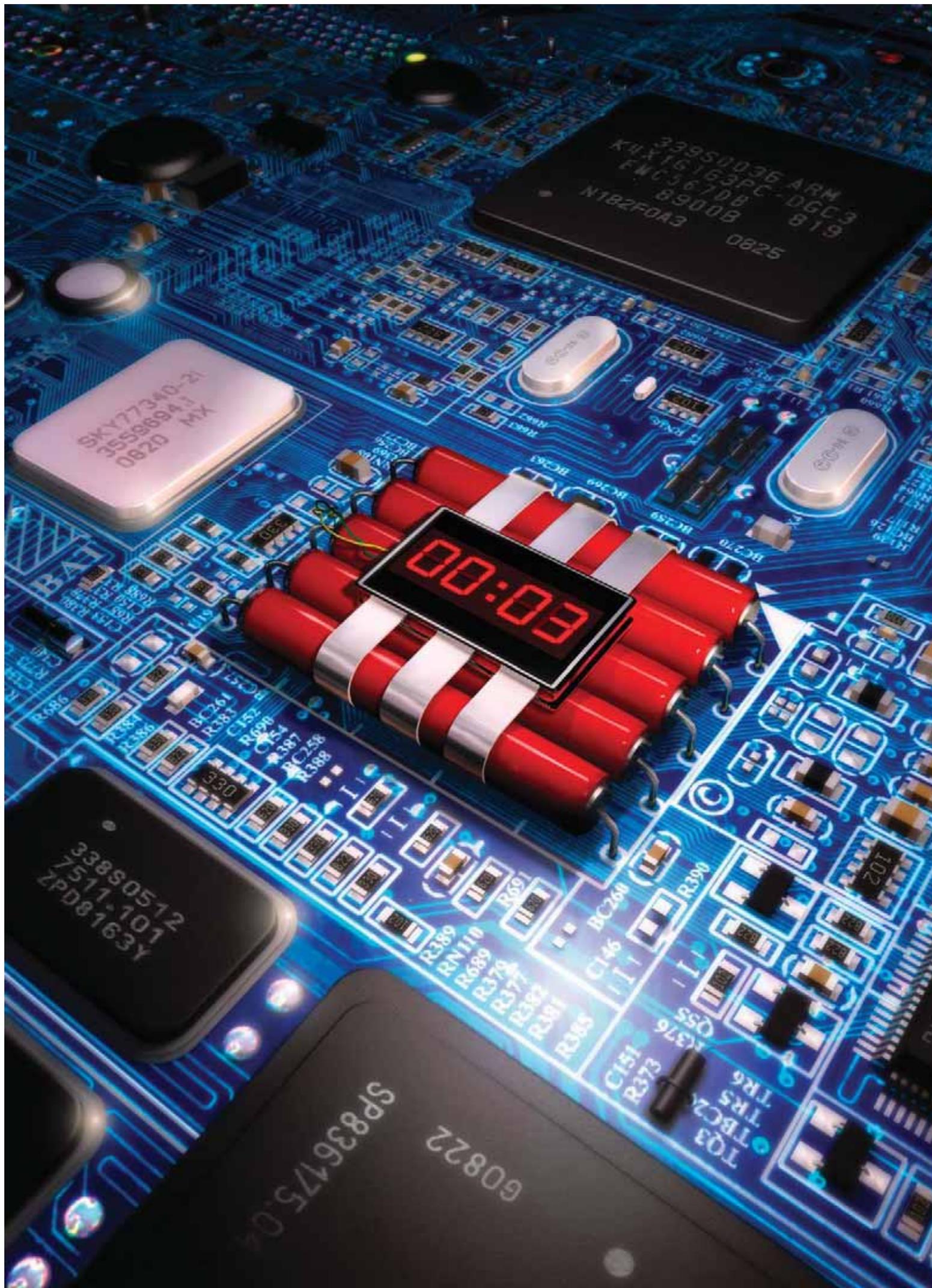
томобилях. Они обеспечивают доступ к банковским сейфам и банкоматам и работу фондовых рынков. Они служат ядром почти всех ответственных систем в вооруженных силах. Вполне вероятно, что хорошо спланированная атака сможет спровоцировать экономический коллапс или парализовать важнейшие структуры армии или правительства.

Поскольку аппаратные трояны могут годами оставаться незамеченными, не исключено – и даже довольно вероятно, – что многие из них уже заложены. И хотя до сих пор сведений о крупномасштабных аппаратных атаках не поступало, они неизбежны.

Как мы слишком хорошо знаем из опыта борьбы с программными кибератаками, весьма скромное число специалистов обладают техническими знаниями, необходимыми для злонамеренных действий, и способны наделать бед.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Сложность и возможности интегральных схем непрерывно растут. Одновременно растет и их уязвимость в отношении атак.
- В состав электронных устройств обычно входят конструкции от многих источников. Троянский конь, скрытый в одной из них, может начать атаку спустя длительное время после того, как устройство покинет пределы завода-изготовителя.
- Помочь защитить изготавливаемое оборудование от таких злоумышленных хакеров могут несколько довольно простых мер.



33950036 ARM  
K4X16163PC-DGC3  
FMC567DB 819  
N182F0A3 0825

3KY77340-21  
6Y559894 J  
062D MX

00:00

33890512  
7511-101  
ZPD8163Y

60822  
SP836175.0

## ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ

В состав одной ИС могут входить блоки, спроектированные в разных странах мира и с участием сотен людей, работающих в разных компаниях. Такая глобализация разработки ИС ускоряет и удешевляет ее, но при этом вносит риск, т.к. чрезвычайно затрудняет выявление зловредных элементов, которые могут быть скрыты среди сотен миллионов ее транзисторов, до отправки схемы заказчику



**ВНУТРИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ.** ИС содержит ряд функциональных блоков, каждый из которых решает свою задачу. Обмен данными между блоками осуществляется через системную шину, трафик в которой контролирует еще один блок, называемый арбитром шины. Например, в сотовом телефоне данные могут передаваться из памяти (1) в вычислительный блок (2), оттуда в блок шифровки и расшифровки информации (3), а оттуда в блоки (4) и (5), обменивающиеся данными с внешними устройствами

**Аппаратные конструкции в цифрах**

**1,55 тыс.**

Количество компаний, занимающихся разработкой ИС во всем мире, из них 700 в Северной Америке, 600 в Азии и 250 в Европе, на Среднем Востоке и в Африке

и в Африке

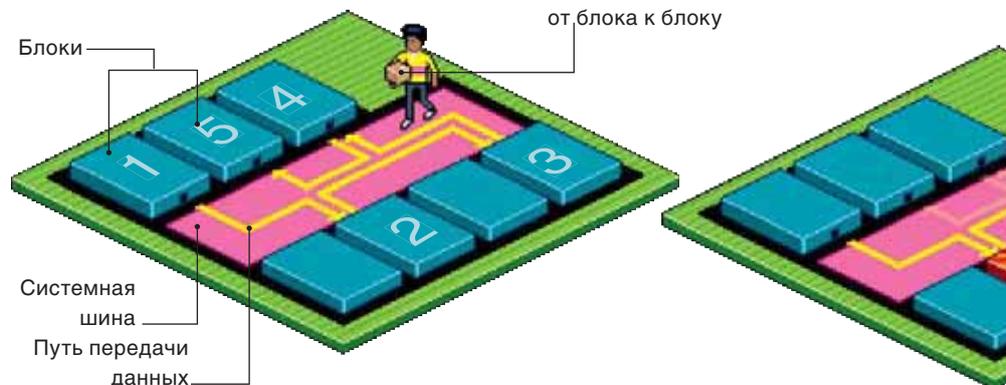
**2,5 тыс.**

Приблизительное число новых ИС, создающихся в мире каждый год

**\$235 млрд**

Мировой объем продаж ИС в 2009 г.

### ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА



Поэтому вместо того чтобы спрашивать себя, произойдут аппаратные атаки или нет, важнее задать вопросы, какую форму они могут принять, какими будут последствия и, самое главное, что можно сделать, чтобы остановить или хотя бы свести к минимуму их разрушительное вмешательство.

### Блок за блоком

Интегральная схема (ИС) – это просто электронная схема, сформированная в полупроводниковом материале, чаще всего кремнии. Размеры современных ИС очень малы, не больше нескольких квадратных сантиметров, но в них размещаются миллиарды транзисторов. Сама сложность схем открывает дорогу для троянских атак.

Современные ИС состоят из отдельных блоков, выполняющих раз-

ные функции. Так, в процессоре мобильного телефона один блок может служить памятью для хранения видеокадров, снятых камерой телефона, другой – сжимать видео в файл формата MPEG, а третий преобразовывать MPEG-файлы в формат, пригодный для передачи через антенну. Обмен данными между блоками осуществляется через системную шину, своего рода транспортную магистраль, связывающую между собой различные части ИС.

Когда компания приступает к созданию новой ИС, она прежде всего определяет, какие потребуются блоки. Некоторые из них затем создаются самой этой компанией – с нуля или путем модификации созданных ранее. На другие приобретаются лицензии у сторонних компаний, которые могут специализироваться

**КОГДА ДЕЛА ИДУТ НЕ ТАК.** Схема, в которой скрыт троянский конь, будет нормально работать, пока вредоносная программа не будет разбужена активатором, который даст команду к началу атаки. Активатором может послужить, например, наступление определенной даты и времени или поступление «пробуждающего» кода из внешнего мира. Активированный троян может осуществлять два типа атак: явные и скрытые

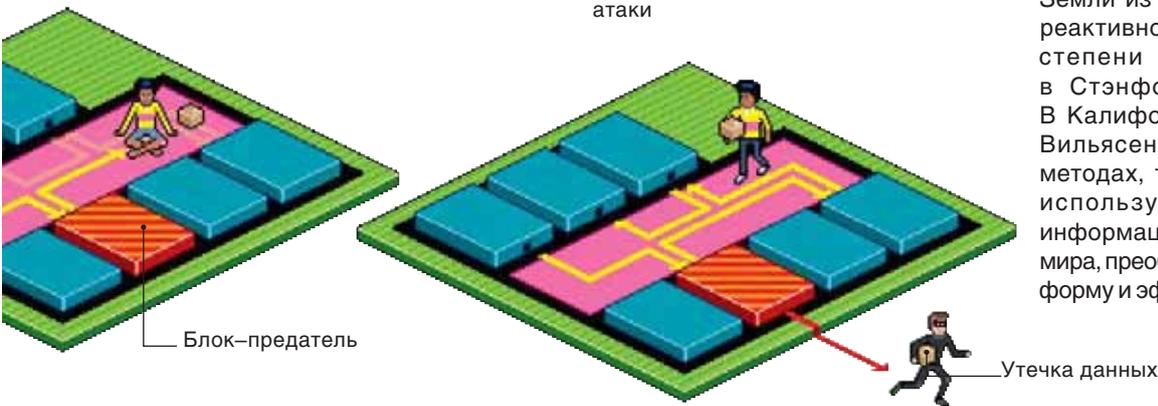


## ОБ АВТОРЕ

**Джон Вильясенор** (John Villasenor) пришел на электротехнический факультет Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе в 1992 г. До этого он разрабатывал методы получения изображений Земли из космоса в Лаборатории реактивной тяги NASA и получил степени магистра и доктора в Стэнфордском университете. В Калифорнийском университете Вильясенор сосредоточился на методах, технологиях и системах, используемых для получения информации из окружающего нас мира, преобразования ее в цифровую форму и эффективной передачи.

**При явной атаке** (внизу слева) вредоносная схема останавливает нормальную работу одного из блоков. В настоящем примере поврежденный блок отказывается высвободить системную шину и тем перекрывает доступ к ней для всех остальных блоков, т.е. полностью прекращает обмен данными между ними, парализуя всю ИС

**При скрытой атаке** (внизу справа) вредоносная схема ничем не выдает своего присутствия. Скрытые атаки тем особенно и опасны, что не показывают никаких признаков неправильной работы схемы. Между тем вредоносная схема может пересылать конфиденциальные данные на сторону или работать совместно с другими вредоносными системами, запуская новые атаки



на определенных функциях, например приеме данных с антенны.

Блоки сторонних разработчиков приобретаются не в виде готовых схем на кремниевых кристаллах, поскольку целью ставится создание интегральной схемы, в которой все элементы сформированы на едином кристалле, а в виде данных, содержащих полное описание того, как блок должен формироваться в кремнии. Такой файл может содержать тысячи строк, и человек практически не в состоянии прочесть и осмыслить их все. Поставщик обычно предоставляет и программу, которую покупатель использует для моделирования реакции блока на различные ситуации. Перед формированием любой схемы в окончательном варианте разработавшая ее компания связывает модели всех блоков

в единую компьютерную модель, чтобы проверить, будет ли создаваемая схема работать, как задумано. И только после того как модель успешно пройдет все испытания, компания приступает к длительному и дорогому процессу формирования реальных ИС в кремнии.

Вот здесь и выявляется ахиллево пята: для того чтобы разбудить вредоносный элемент, нужна специальная команда, так называемый активатор. Проверять безопасность схемы, изготовитель должен испытать воздействие всех мыслимых активаторов, а число их так велико, что проверить все невозможно. Более того, помимо внутренних активаторов, например даты, как описано выше, хакееры могут использовать и внешние, например сообщение, содержащее определенный набор симво-



Процессор Opteron 6100 компании AMD, показанный здесь в натуральную величину, представляет собой комплекс из двух ИС, содержащих вместе больше 1,8 млрд транзисторов. Разные цвета соответствуют разным функциональным блокам

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## КАК ОСТАНОВИТЬ АППАРАТНЫХ ХАКЕРОВ



Защищенная ИС содержит небольшое количество дополнительных цепей, которые охраняют ее изнутри. Если обнаруживается враждебное поведение, за несколько микросекунд может быть запущен ряд защитных действий по выявлению источника атаки и принятию мер противодействия. Ниже рассмотрены некоторые возможные стратегии

ЗАЩИТНАЯ МЕРА	ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ	КАК ОНА РАБОТАЕТ
<b>КОНТРОЛЛЕР ШЛЮЗА ПАМЯТИ</b>	Предотвращение попыток вышедшего из подчинения блока получить доступ к запретным зонам памяти, что помогает предотвратить разглашение или искажение данных	Контроллер разрешает блокам доступ только к разрешенным для них зонам памяти и сигнализирует о любой попытке несанкционированного доступа
<b>ЗАЩИЩЕННАЯ СИСТЕМНАЯ ШИНА</b>	Предотвращение злонамеренного захвата контроля над системной шиной, который может привести к полному параличу всей ИС или резкому замедлению ее работы	Шина анализирует статистическую картину доступа различных блоков к себе и сигнализирует о необычном поведении
<b>МОНИТОР ВХОДА И ВЫХОДА</b>	Затруднение скрытого шпионажа, т.е. попыток ИС скопировать данные во внешнее устройство	Монитор анализирует поступление данных в ИС и выход их из нее и сравнивает картины этих перемещений с ожидаемыми, сигнализируя о любом отклонении от нормы
<b>ТЕСТИРОВАНИЕ БЛОКОВ НА МЕСТЕ</b>	Защита от троянских атак, направленных на повреждение исправного до этого блока	Внутренний контролер целостности блоков время от времени проверяет блоки, чтобы удостовериться, что они работают как должно
<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММИРУЕМАЯ АППАРАТНАЯ ЛОГИКА</b>	Отключение подозрительного блока и принятие на себя его функций	Дополнительная логика конфигурируется так, чтобы заменить отключенный блок, хотя бы и с возможной потерей быстродействия
<b>СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ ОБ АТАКАХ</b>	Позволяет схемам заранее защищаться от предстоящих атак	Атакованная схема предпринимает контрмеры и посылает предупреждения об атаке другим устройствам, в которых имеются такие же схемы

лов. Компании делают все, что в их силах, но очевидно, что проверить можно лишь очень малую долю возможных входных кодов. И если блок ведет себя как должно, считается, что он работает правильно.

## Вопрос доверия

На первых порах истории создания ИС о хакерах можно было не заботиться. Первые конструкции создавались целиком внутри компании небольшими группами, работавшими на общую цель. Такая организационная защита позволяла разработчикам создавать открытые протоколы, основанные на предположении, что все части схемы будут вести себя как задумано. (Это похоже на начало истории сети Интернет, когда небольшое сообщество ученых строило открытую платформу, исходя из предположения, что все будут вести себя добропорядочно. Однако это предположение не выдержало расширения Интернета.)

Сегодня над созданием большой ИС работают сотни и даже тысячи людей, причем жить они могут на разных континентах. Поскольку процесс проходит в несколько этапов, разрабатываемые элементы разрознены и находятся в разных местах, а участники многократно обмениваются ими между собой. Например, американский изготовитель может сочетать элементы, созданные в разных филиалах его компании, с элементами сторонних разработчиков из США, Европы и Индии, а производство наладить в Китае. В последние годы такие глобальные схемы получили распространение, т.к. оказались эффективными и обеспечили большую экономию средств. Однако они сделали обеспечение безопасности гораздо более трудным делом, чем в прежние времена, когда все происходило в одном месте. Сложность больших ИС и большое количество людей, занятых в их разработке, создают риск того, что некто посторонний сможет незаконно вмешаться и незаметно испортить конструкцию.

Существует также небольшая (но все же отличная от нуля) вероятность того, что дизайн элементов будет умышленно изменен кем-то из разработчиков. Хотя подавляющее большинство людей, участвующих в разработке любой части конструкции, будут стремиться создать конструкцию высшего качества, здесь, как и везде, где речь идет о безопасности, действия даже одного человека, имеющего преступные намерения и внутренний доступ к процессу разработки, могут создать очень большие проблемы.

В идеале потенциальные злоумышленники не должны иметь возможности получить доступ к ИС в процессе ее конструирования и изготовления. Программа Trust in Integrated Circuits («Доверие к интегральным схемам») Управления передовых оборонных исследований Министерства обороны США (DARPA) призвана обеспечить необходимые меры безопасности. DARPA разрабатывает процессы, которые должны гарантировать, что все этапы проектирования и изготовления ИС осуществляются компаниями и людьми, заслужившими доверие. (Кроме того, управление финансирует исследования новых способов тестирования ИС до их установки в системы вооружений США.) Однако на практике обеспечить абсолютную безопасность проектирования невозможно.

Кроме того, конструкторы должны создавать электронные схемы, способные выявлять атаки, если они все же произойдут, и реагировать на них, подобно внутренней службе безопасности. Хотя научно-техническое сообщество, несомненно, должно принимать все возможные меры, чтобы отбить у потенциальных преступников охоту к злонамеренным действиям, любое ответственное сообщество не может не понимать, что эти меры, сколь бы продуманными и полными они ни были, не могут быть эффективными на 100%. Поэтому очень важно иметь «полицейские» силы, способные быстро и эффек-

тивно реагировать в случае, когда преступление уже произошло.

## Защита электронных схем

Схемы, способные эффективно выявлять атаки и реагировать на них, называются защищенными. Они содержат некоторые дополнительные цепи, предназначенные специально для того, чтобы выявлять поведение, которое может стать симптомом проблемы. В случае подозрения на атаку защищенная схема должна определить ее тип и постараться свести к минимуму вызванный вред.

В примере с заблокированным телефоном отказ мог быть вызван неправильной работой какого-то одного блока, который взаимодействует со всеми остальными через системную шину. У нее имеется арбитр – своего рода регулировщик дорожного движения, определяющий, какую информацию когда передавать. Однако аналогия с таким регулировщиком не вполне корректна. Если регулировщик на перекрестке может открывать и останавливать движение, когда сочтет нужным, то полномочия арбитра шины уже: он может дать блоку разрешение передавать информацию через шину, но блок может удерживать предоставленный доступ к шине сколько захочет – таково наследие давнего допущения, что все блоки всегда будут вести себя правильно. Здесь-то и лежит корень проблемы.

Обычно блок удерживает доступ к шине столько времени, сколько необходимо, после чего освобождает ее для использования другими блоками. Арбитр шины обнаруживает, что шина свободна, и предоставляет ее другому. Но если блок сохраняет контроль над шиной неограниченно долго, дальнейшая передача данных становится невозможной, и вся система блокируется.

В защищенной ИС ведется непрерывный контроль обмена информацией между блоками, и если выясняется, что какой-то из них монополизировал доступ к шине, защищенная схема мо-

жет изолировать его, а затем использовать свой запас программируемой аппаратной логики для восстановления утраченных функций. Такие действия, возможно, уменьшат общее быстродействие устройства, но по крайней мере позволят ему сохранить минимальную работоспособность.

Явная атака – не самая страшная угроза. Гораздо опаснее может быть скрытая атака. В этом случае работа устройства остается внешне нормальной, но на самом деле может подчиняться злему умыслу. Например, мобильный телефон может начать тайно передавать на сторону записи всех исходящих и входящих текстовых сообщений. Не страдающий излишней подозрительностью наблюдатель не заметит никаких погрешностей, а атака может длиться неограниченно долго.

Защищенная ИС должна отражать атаки такого рода. Она должна непрерывно контролировать количество и тип принимаемых и отправляемых данных и статистически сравнивать результаты с ожидаемыми потоками данных. Любая аномалия должна отмечаться флажком, и схема должна либо извещать пользователя, либо самостоятельно останавливать обмен данными.

Кроме принятия мер по противодействию троянским атакам на свою собственную работу ИС можно оповещать другие устройства о типе атаки, в принципе давая им возможность принять меры по ее предотвращению (или хотя бы по минимизации причиняемого ею вреда). При том уровне соединяемости, который предполагается у всех современных систем, такое оповещение не столь уж недостижимо, как может показаться. Например, если атакованная схема может идентифицировать активатор, она в состоянии сообщить другим устройствам, что соответствующее послание необходимо отсечь.

Рассмотренные здесь меры будут эффективными только при условии, что те части схемы, которые отвечают за защиту, сами за-

щищены и надежны. Это может показаться порочным кругом. Однако элементы схемы, предназначенные для ее защиты, составляют лишь малую часть всей конструкции. Их можно разработать внутри компании с участием только самых надежных людей.

## Защита электронных схем

Благодаря усилиям правительства, ученых и бизнесменов в деле обеспечения безопасности Интернета достигнуты огромные успехи. С интегральными микросхемами дело обстоит иначе: осознание того, что дело заслуживает внимания, растет, но стратегии защиты разработаны не до конца и еще меньше внедрены в практику.

Всеобъемлющий подход к предотвращению аппаратных атак требует действий на нескольких уровнях. Стратегии вроде программы DARPA, направленные на то, чтобы не допустить попадания «заминированных» ИС на рынок, – хорошее начало, но важнее внедрять безопасные конструктивные меры вроде рассмотренных выше, которые позволяли бы защищаться от уже предпринятых атак. Как и во всех других областях, обеспечение защиты ИС потребует времени, денег и усилий. Широкий спектр вариантов представляет компромисс между эффективностью защиты и затратами на ее обеспечение. К счастью, действенную защиту можно обеспечить без больших затрат.

Защищенная ИС содержит небольшое количество дополнительной логики. Исследования моей группы в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе показали, что необходимое увеличение размера ИС составляет обычно несколько процентов. Поскольку шаги по проверке правильности работы функциональных блоков схемы могут потребовать нескольких периодов тактовой частоты, которые без этого использовались бы для выполнения рабочих задач схемы, несколько снизится и быстродействие схемы. Однако мы выяснили, что относитель-

ное снижение быстродействия будет небольшим, а в некоторых случаях его и вообще не произойдет, если все меры по защите выполняются с помощью временно спящих логики и функциональных блоков.

Как и в мире программных средств, защита ИС станет гонимой вооружений, требуя постоянных инноваций для поддержания готовности к противодействию новейшим формам атак. И хотя внести изменения в ИС через Интернет, как это делается для устранения выявленных брешей в защите программных средств, невозможно, современные ИС содержат ряд реконфигурируемых составляющих, которые, если предпринять надлежащие шаги в ходе конструирования схемы, можно использовать для автоматической замены той части оборудования, которая выведена из строя атакой. Лучшая защита – техническая гибкость.

Аппаратные атаки неизбежны, но это не означает, что они непременно будут успешными. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Trojan Detection Using IC Fingerprinting. D. Agrawal et al. in Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Security and Privacy. Berkeley, Calif., May 2007.

Old Trick Threatens the Newest Weapons. John Markoff in New York Times; October 26, 2009.

■ A Trojan-Resistant System-on-Chip Bus Architecture. L. Kim, J. Villasenor and C. Koc in Proceedings of the 2009 IEEE Military Communications Conference. Boston, October 2009.

■ Securing the Information Highway. Wesley K. Clark and Peter L. Levin in Foreign Affairs, November/December 2009.

## ЭНЕРГЕТИКА И ХАКЕРСТВО

Национальная интеллектуальная энергосеть создается так, что становится опасно уязвимой

Мелисса Хатауэй

Слова президента Барака Обамы о необходимости «интеллектуальной энергосети» звучат воодушевляюще. Сеть с линиями электропередачи, оснащенными передовыми информационными технологиями и связью через Интернет, позволит интегрировать в энергосистему такие источники электроэнергии, как солнечные батареи на крышах зданий и ветроэнергетические установки, сбалансировать генерацию и потребление энергии и оптимизировать подачу мощности каждому потребителю, вплоть до отдельных приборов. Она намного повысит надежность и эффективность энергосистем. Однако в рассматриваемом сегодня виде эта идея выглядит сомнительной.

Проблема в кибербезопасности. Для получения повышения эффективности и управляемости нужно завязать на Интернет почти все элементы сети – от интеллектуальных счетчиков электроэнергии в каждом доме до линий электропередач. Сегодня подключение отдельных энергосистем к Интернету открывает доступ к их сайтам через модемы, беспроводные, а также частные и общественные сети. Но для обеспечения безопасности всего этого недостаточно.

Энергосеть сегодня более беззащитна перед кибератаками, чем всего несколько лет назад. Список выявленных федеральным правительством уязвимых мест уже достиг десятков тысяч пунктов – на протяжении более 360 тыс. км высоковольтных линий электропередач на тысячах электростанций и в миллионах цифровых систем управления. Коммунальные службы и частные энергетические компании не позаботились об установке и обновлении средств защиты от вредоносных программ.

Информация о поставщиках, именах пользователей и паролях оказалась незащищенной. Данные входа в систему часто не зашифровываются. Некоторые важные системы допускают неограниченное число попыток доступа извне.

Поскольку энергетическая отрасль продолжает вкладывать средства в информационные технологии, опасность только возрастает. Интеллектуальные счетчики с внешними IP-адресами могут подвергаться отказам обслуживания из-за спам-атак – таких же, от которых страдают сайты. Подобного рода атаки могут привести к потере связи энергосети со счетчиками и в результате к отключению вашего дома или предприятия от электропитания.

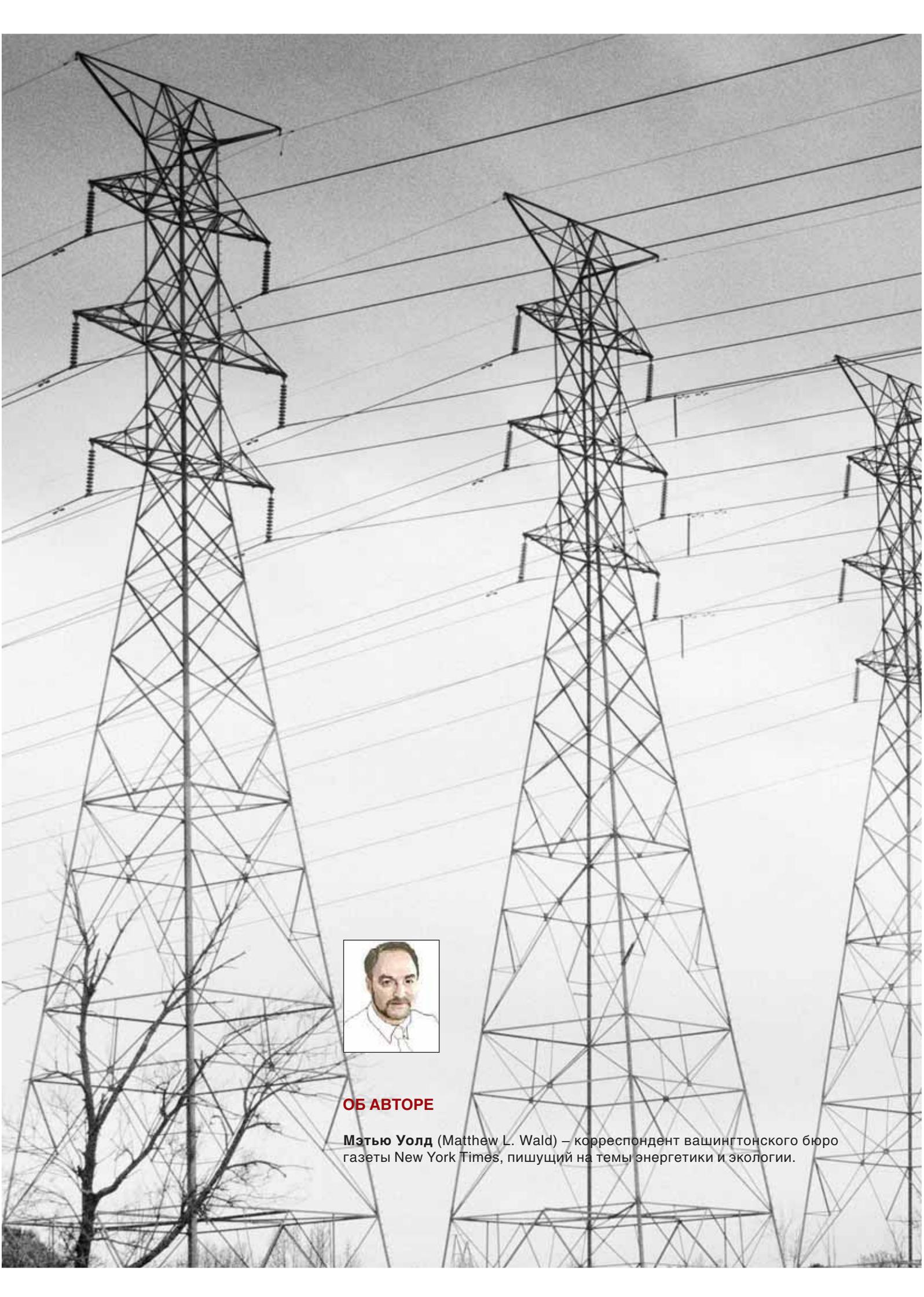
Кроме того, интеллектуальная энергосеть может стать источником приватной информации для хакеров. Точно так же как они используют фишинг для определения паролей, номеров кредитных карточек и других данных, хакеры могут найти способы перехвата информации о потребителях через интеллектуальные счетчики. Искусственный взломщик может использовать эти данные, чтобы узнать, что вы уехали в отпуск, и тогда ему легче будет ограбить ваш дом.

Данные о потребителях могут также дать возможность хакерам вывести из строя сеть. Например, интеллектуальные счетчики, зараженные вредоносными программами, могут нарушить работу энергосети так же, как сети ПК-ботнетов (домашних компьютеров, управляемых вирусами) вмешиваются сегодня в работу Интернета. Сеть дистанционно управляемых интеллектуальных счетчиков может снизить расход энергии в части энергосети,

отключая электрические нагрузки. Дисбаланс вызовет большой поток энергии обратно к генераторам, что повлечет за собой их серьезное повреждение и может спровоцировать взрыв. Интеллектуальная энергосеть – неплохая вещь, если в нее изначально встроить киберзащиту. Но этого недостаточно. В рамках программ финансирования, составляющих часть налогового-бюджетного стимулирования, правительство США выделило на общенациональную интеллектуальную энергосеть \$3,4 млрд и планирует потратить еще \$4 млрд, но Министерство энергетики только недавно начало рассматривать вопросы безопасности. Пока что коммунальные службы настолько сосредоточены на снижении расходов, что не желают тратить средства на меры безопасности. Одних законодательных мер будет недостаточно.

Чтобы встроить средства безопасности в систему изначально, необходимо сотрудничество создателей стандартов, законодателей и отрасли. В число таких средств должны входить процедуры оценки защищенности интеллектуальных сетевых устройств и других систем, сертификации персонала и бизнес-процессов и компенсации вложений в безопасность энергетическим компаниям. Необходимы также дополнительные исследования по повышению безопасности компьютерных микросхем и другого оборудования, которое предполагается использовать в энергосети. Нужен план мероприятий на случай отказов сети. Следует не забывать и про международное сотрудничество, проводить исследования судебной технологии по борьбе с атаками из-за границы. Энергетика должна взять пример с финансовых компаний, которые постоянно работают над обеспечением безопасности интернет-транзакций. Идея интеллектуальной энергосети перспективна, но при ее планировании ключевым элементом должна стать киберзащита. ■

Перевод: И.Е. Сацевич



#### **ОБ АВТОРЕ**

**Мэтью Уолд** (Matthew L. Wald) – корреспондент вашингтонского бюро газеты New York Times, пишущий на темы энергетики и экологии.

# КАК ПОСТРОИТЬ СУПЕРСЕТЬ

Соединенным Штатам необходима новая система передачи электроэнергии. Преодолеть трудности позволят четыре шага

Мэтью Уолд

**С**еть линий электропередачи (ЛЭП), доставляющих электроэнергию от электростанций потребителям, – жизненно важная часть инфраструктуры любого государства, в том числе и США. Но ее недостатки скрыты от глаз. Мачты и провода, протянувшиеся над территориями, или местные подстанции, понижающие напряжение для подачи электроэнергии в дома и предприятия могут привлечь внимание, но в отличие от затоплений, которые могут вызываться разрывами в водопроводных линиях, перегрузки в сети извне не видны. Тем не менее существующая сеть нуждается в масштабной модернизации. Если США намерены перейти от использования ископаемого топлива к более чистым возобновляемым источникам энергии – ветру и солнечному излучению – или даже к ядерной энергии, сеть электропередачи должна быть существенно расширена: линии потребуются протянуть к отдаленным пустыням и высокогорным плато, где больше всего солнечного света и сильнее всего

дуют ветры. Более того, модернизация остро необходима и для снижения количества все учащающихся сбоев в подаче электроэнергии, которые в масштабе страны обходятся в миллиарды долларов в год.

Так как же построить такую суперсеть? После ряда лет обсуждения большинство инженеров согласилось, что современную структуру следует надстраивать над существующей перегруженной лоскутной сетью, создавая костяк с большей пропускной способно-

стью, охватывающий более отдаленные места. Пакет стимулирующих мер, предложенный администрацией президента Обамы, предусматривает выделение федеральным органам кредита в \$6,5 млрд на строительство линий электропередачи и предоставляет частным компаниям гарантии по кредиту на сумму \$2 млрд, так что деньги для начала строительства есть. Возведение суперсети потребует нескольких важных технических шагов и одного политического.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Модернизация сети линий электропередачи США может сделать электроэнергию дешевле, уменьшить перерывы ее подачи и обеспечить подачу электроэнергии от солнечных и ветровых электростанций в отдаленные города.
- Постройка такой суперсети будет, вероятно, включать в себя четыре шага: увеличение числа ЛЭП, повышение напряжения, постройку линий постоянного тока для передачи электроэнергии на большие расстояния и сооружение коротких линий постоянного тока, связывающих между собой три отдельные области энергоснабжения.
- При выборе направлений прокладки новых линий федеральным властям скорее всего потребуются преодолеть сопротивление штатов и их правительств, а также жителей и энергетических компаний. Курс на использование возобновляемых источников энергии может стимулировать строительство линий электропередачи на средства частных инвесторов.

## Передача энергии при более высоком напряжении – второй шаг к созданию суперсети – сэкономит деньги, уменьшит потери и площадь земель, отводимых под ЛЭП

### Строй, детка, строй!

Первым шагом должно стать строительство новых ЛЭП, особенно от месторасположения потенциальных возобновляемых источников энергии к растущим городам, потребности которых в электроэнергии удовлетворяются сегодня за счет электростанций, работающих на каменном угле. Новые ЛЭП должны также помочь региональным энергетическим компаниям продавать излишки электроэнергии, если таковые у них появятся, другим более удаленным компаниям.

Крупномасштабное строительство сильно запоздало. Вот что сказал о существующей энергосети США «главный инвестор» Барак Обама в октябре 2009 г.: «Только вообразите, как выглядела дорожная сеть страны в 1920-х и 1930-х гг., до создания системы межштатных магистралей. Это был запутанный лабиринт местных дорог, плохое состояние которых не позволяло быстро перемещаться из пункта А в пункт В».

За последнее десятилетие строилось чуть больше 1600 км высоковольтных ЛЭП в год, а исследование Национальной лаборатории возобновляемых энергоресурсов, результаты которого были опубликованы в январе 2010 г., показало, что для удовлетворения 20% потребностей США в электроэнергии за счет энергии ветра потре-

буется сверх существующих более 257 тыс км ЛЭП построить еще 36,5 тыс. км междуштатных энергомагистралей. Рабочие, возводящие мачты линий электропередачи, смогут насладиться более величественными видами, чем бригады дорожных строителей.

Кроме присоединения к источникам возобновляемой энергии новые ЛЭП помогут решить навязшую в зубах проблему излишков электроэнергии. Сегодня на более широком рынке сбыта даже при низком спросе на электроэнергию некоторым электростанциям приходится работать для поддержания стабильности напряжения в системе, хотя спроса на производимую энергию нет. По ночам, когда ветры особенно сильны, случаются ситуации, когда вырабатываемую ветроэлектростанциями энергию некуда передавать. В таких случаях некоторым операторам энергосетей приходится платить производителям электроэнергии, чтобы они снижали выработку энергии. И если производство все равно превышает потребление, «вы платите людям за потребление энергии», жалуется главный управляющий калифорнийского оператора сетей Якут Мансур (Yakout Mansour).

Такой дисбаланс может сделать чистую электроэнергию от возобновляемых источников очень дорогой. Остановка ветроэнергетических установок при сильном ветре может быстро сделать их нерентабельными. Энергетические магистрали помогут частично решить проблему, передавая электроэнергию на дальние расстояния потребителям, которым она нужна. Увеличение числа ЛЭП поможет также сглаживать подъемы и спады напряжения на более обширных территориях поставщиков и потребителей электроэнергии, так что флуктуации смогут поглощаться без образования опасных всплесков напряжения, перебоев подачи электроэнергии или длительных понижений напряжения.

Увеличение числа ЛЭП сделает также оправданным создание хра-

нилищ больших количеств энергии. Избыточную энергию, вырабатываемую ветровыми электростанциями по ночам, можно будет накапливать с помощью ряда систем, способных генерировать ее на следующий день, когда она будет нужна: больших аккумуляторных батарей, маховиков, запасаения сжатого воздуха, закачки воды в емкости на высоте, поступаая из которых она сможет вращать турбины, нагрева баков с расплавами солей для выработки пара, приводящего в действие паровые турбины, и т.д. Но, сначала нужно обеспечить возможность подачи электроэнергии в такие системы.

### Более высокое напряжение

Расширение сети линий электропередач позволит обеспечить лучшее взаимодействие производителей электроэнергии с потребителями. Но передача энергии под более высокими напряжениями – это второй шаг к созданию суперсети – снизит потери энергии в проводах, что даст экономию денег, и уменьшит площадь земель, которые нужно будет отводить под ЛЭП, протянувшиеся над горами и долами.

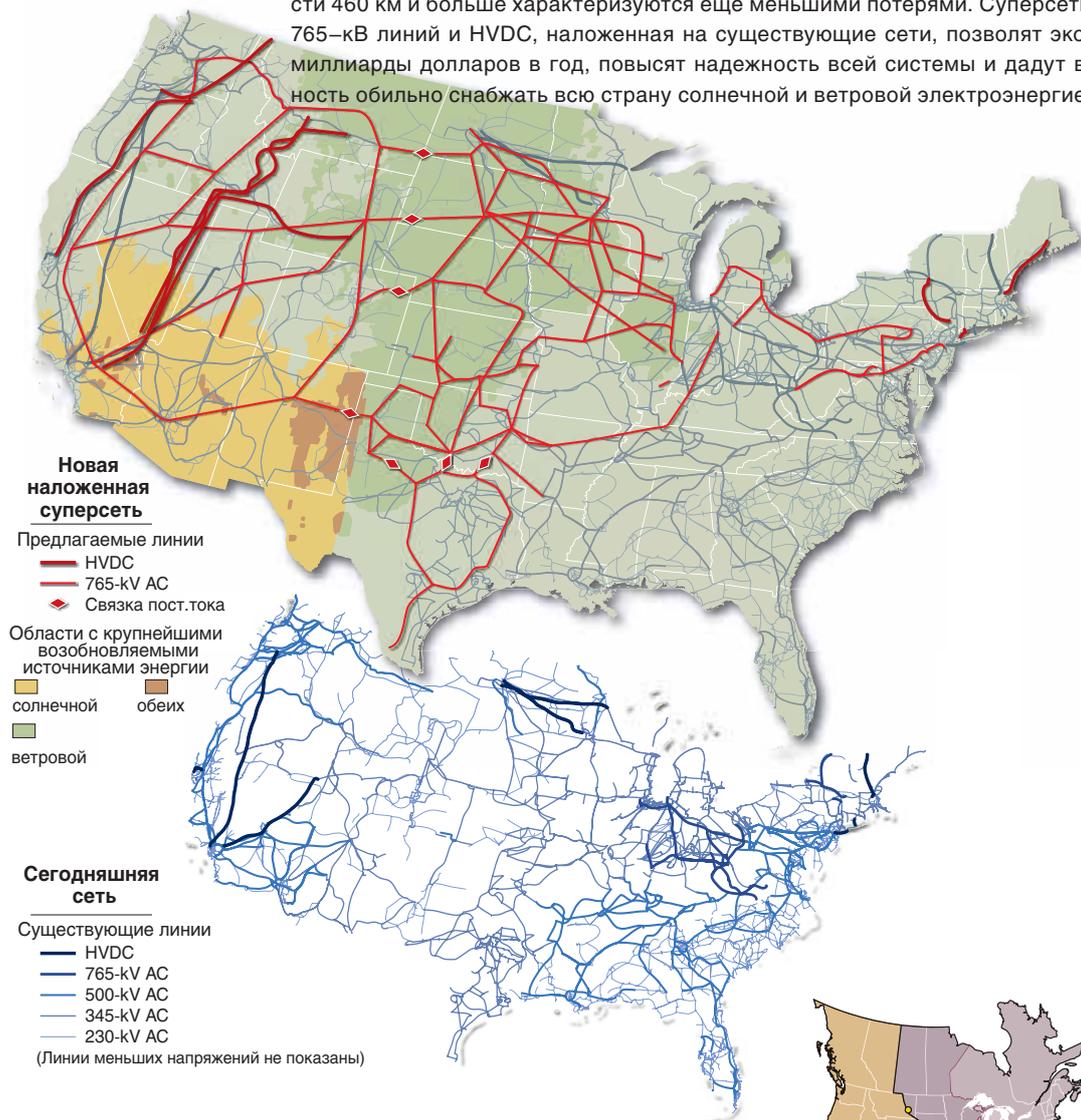
Энергия при передаче через ЛЭП теряется в основном в виде тепла, и с повышением напряжения потери резко уменьшаются. Джеймс Мунц (James A. Muntz), менеджер компании Northeast Utilities, которая хочет импортировать больше электроэнергии из Канады, подсчитал, что потери 160-км ЛЭП, передающей мощность 800 мегаватт (МВт), примерно соответствуют мощности крупной электростанции, работающей на угле. Если линия будет работать при напряжении 345 киловольт (кВ), используемом сегодня на большинстве магистральных ЛЭП, потери составят 19,8 МВт, а при напряжении 765 кВ, наивысшем напряжении в сегодняшних ЛЭП США (хотя ЛЭП с таким напряжением мало), – только 3,45 МВт, почти в шесть раз меньше. В ЛЭП же с напряжением 1,1 тыс. кВ потери составят всего 1,91 МВт.

## ЭНЕРГОМАГИСТРАЛИ БУДУЩЕГО

Существующая система электропередач США (средняя карта), которая доставляет энергию от электростанций окрестным подстанциям, недостаточно охватывает районы, богатые ветровой и солнечной энергией, и подвержена сбоям. Надежный костяк высоковольтных линий (верхняя карта) позволит решить обе проблемы. В качестве минимального шага можно соединить между собой три региональные сети Северной Америки (нижняя карта) чтобы повысить их общую надежность

### НАРАЩИВАНИЕ ЭНЕРГОПЕРЕДАЧИ

В сегодняшней системе очень мало 765-кВ ЛЭП переменного тока (AC) и высоковольтных линий постоянного тока (HVDC). Одна 765-кВ ЛЭП (765-кВ AC) благодаря меньшим потерям способна передавать такую же мощность, что шесть 345-кВ ЛЭП (345-кВ AC). Линии постоянного тока подобных напряжений при протяженности 460 км и больше характеризуются еще меньшими потерями. Суперсеть новых 765-кВ линий и HVDC, наложенная на существующие сети, позволят экономить миллиарды долларов в год, повысят надежность всей системы и дадут возможность обильно снабжать всю страну солнечной и ветровой электроэнергией

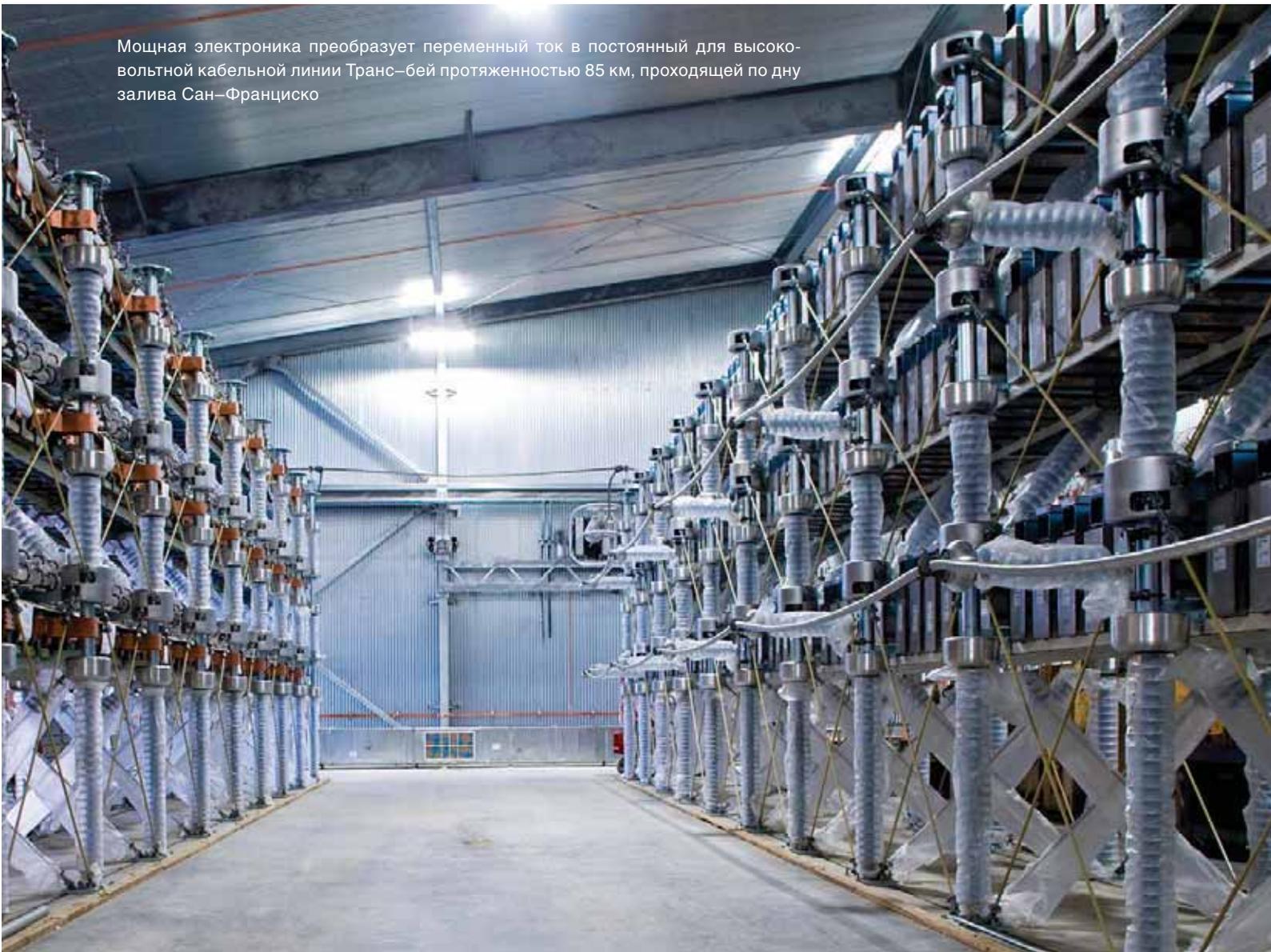


### ТРИ РЕГИОНА ОБЪЕДИНЯЮТСЯ

Три сети, обслуживающие США и Канаду, связаны между собой всего несколькими линиями малой пропускной способности. Связывание их с помощью большего числа связей постоянного тока позволит противодействовать нестабильностям и поможет энергетическим компаниям продавать излишки мощности. Одна компания, Tres Amigas, предлагает альтернативу: единый мощный узел, который свяжет эти сети сверхпроводящими кабелями



Мощная электроника преобразует переменный ток в постоянный для высоковольтной кабельной линии Транс-бей протяженностью 85 км, проходящей по дну залива Сан-Франциско



В СССР когда-то работала ЛЭП с напряжением 1,15 тыс. кВ, подобные линии есть в Японии, несколько таких линий строит Китай.

Повышение рабочего напряжения ЛЭП не только даст передающим компаниям ежедневную экономию денег, но и позволит региональным проектировщикам снизить затраты на землю и строительство. Согласно данным Майкла Хейека (Michael Heyses), менеджера по электропередаче в компании American Electric Power, самого крупного в США оператора 765-кВ линий, одна такая линия

способна передавать ту же мощность, что и шесть 345-кВ линий. 765-кВ ЛЭП требует полосы отчуждения шириной 60 м, а для шести 345-кВ ЛЭП потребуется полоса шириной 270 м. Однако стандартная мачта 765-кВ ЛЭП имеет высоту 41–46 м, т.е. существенно выше мачт для 345-кВ ЛЭП (высотой обычно 33,5–38 м). С повышением напряжения необходимо увеличивать расстояние от проводов до земли, а люди обычно считают, что более высокие мачты сильнее уродуют пейзаж.

В январе 2008 г. компания American Electric Power и Министерство энергетики США представили возможный план наложения общенациональной системы 765-кВ магистральных ЛЭП на существующую – подобно тому, как сеть междугородных автомагистралей была наложена на местные дороги, – чтобы существенно расширить возможности всей сети и уменьшить потери электроэнергии. Для такой системы потребуется 35,2 тыс. км 765-кВ ЛЭП, 4,8 тыс. км из которых уже имеются. Обойдется она примерно в \$60 млрд. Зато милли-



160-км линии, передающей мощность 800 МВт, но несущей постоянный ток с напряжением 500 кВ, потери составят 3,82 МВт – меньше половины потерь в линии переменного тока того же напряжения. А если поднять напряжение до 800 кВ, потери снизятся до 1,5 МВт, т.е. тоже более чем вдвое от потерь в 765-кВ ЛЭП переменного тока.

Постоянный ток предпочтителен для передачи из точки в точку без промежуточных «остановок». Он уже применяется в ЛЭП между гидроэлектростанциями в северной части провинции Квебек и в Новой Англии, а также между электростанциями на реке Колумбия в штате Орегон и на юге Калифорнии. Здесь постоянный ток был выбран потому, что он эффективен и легко регулируется. Переменный ток течет по путям наименьшего сопротивления, отвечаясь на случайные проводники подобно воде с вершин гор, просачивающейся разными путями в водоемы у подножий. Линия постоянного тока подобна трубе, ведущей с вершины к подножию, с насосом, который можно регулировать в реальном времени.

Такая возможность важна, поскольку общая энергосеть состоит из сотен местных, принадлежащих разным владельцам. Когда продавец передает энергию удаленному покупателю, мощность передается по любым проводам, которые он выберет, что создает риск перегрузок в разных, не имеющих отношения к сделке местах между начальной и конечной точками.

В последние несколько лет кабельные линии постоянного тока были открыты между побережьем штата Нью-Джерси и южной частью острова Лонг-Айленд, а также через пролив Лонг-Айленд до штата Коннектикут. В обоих случаях найти приемлемый подводный маршрут было гораздо легче, чем маршрут по перегруженным ЛЭП центрального региона и линиям передач экстренных потоков мощности. Недавно была введена в эксплуатацию также кабельная

линия постоянного тока «Транс-Бей» (Trans Bay Cable) мощностью 400 МВт и протяженностью 85 км, проложенная по дну залива Сан-Франциско. Регулируется она настолько плавно, что руководители энергосетей смогли закрыть несколько довольно грязных старых электростанций в Сан-Франциско, которые использовались для поддержания стабильности напряжения в сетях переменного тока этого региона.

Несмотря на все свои преимущества, линии постоянного тока оправдывают себя только если имеют большую протяженность, т.к. на обоих концах такой линии необходимы преобразовательные подстанции для превращения переменного тока в постоянный и обратно. Такие преобразования требуют использования мощных электронных устройств, съедающих примерно по 1% мощности на каждом конце. Согласно мнению Эндрю Филипса (Andrew Phillips), директора по передаче энергии в Научно-исследовательском институте электроэнергетики, благодаря снижению затрат порог рентабельности таких линий снизился с 800 км 15 лет назад до 480–560 км.

Разумно спроектированные кабельные линии постоянного тока большой длины могут составить основу структуры на всем континенте, отличающейся от той, которая предусматривалась планом компании American Electric Power по строительству 765-кВ ЛЭП, где предполагалось создать небольшое число с линий постоянного тока. Исследования Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии показывают целесообразность создания десяти 800-кВ соединений постоянного тока запад – восток (от Великих равнин до атлантического побережья) большой пропускной способности, хотя конкретных маршрутов не предлагают. На конференции по строительству ветроэнергетических установок на Среднем Западе для энергоснабжения Восточного побережья технический дирек-

арды долларов будут ежегодно экономиться благодаря существенному уменьшению потерь и тому, что дорогую местную энергию легче будет заменять более дешевой из мест, пока не охваченных сетью.

### Постоянный ток

Для дальнейшего уменьшения потерь инженеры рекомендуют в ЛЭП, проходящих по наиболее загруженным коридорам, использовать постоянный ток вместо стандартного переменного, подаваемого практически во все дома и на все предприятия. Мунц подсчитал, что в той же

## План модернизации Северо–востока потерпел крах, поскольку Нью–Йорк и Новая Англия заявили, что он отдает предпочтение получению энергии ветра с Великих равнин, а не с Атлантического побережья

тор компании Midwest Independent System Operator по электропередаче Дейл Осборн (Dale Osborn) сказал, что постоянный ток – это единственная технология, гарантирующая доставку энергии именно туда, где она нужна. Сложность состоит в том, что делать отводы от линии постоянного тока в промежуточных точках очень дорого.

### Связать воедино всю страну

Строительство большого числа дальних высоковольтных линий как переменного, так и постоянного тока может позволить сформировать суперсеть, которая упрочит и расширит существующую систему электропередач. Однако масштаб строительства таких линий должен быть шире предусматривавшегося традиционным планированием. Трудность состоит в том, что линии переменного тока можно удлинять поэтапно, как строят дороги по миле за один раз, а линия постоянного тока подобна мосту с фиксированным началом и концом.

Системы электропередачи всегда строились отрезками: в пределах зоны действия одной энергетической компании или двух соседних. Размещение новых линий

и получение прав на их прокладку по чужой земле всегда наталкивалось на бюрократические препоны и сопротивление общественности. Третья трудность имеет общенациональный характер, поскольку 48 «нижних» штатов поделены между тремя гигантскими энергетическими сетями: Восточным соединением (Eastern Interconnection) к востоку от Скалистых гор, Западным соединением (Western Interconnection) к западу от Скалистых гор и соединением «Эркот» (Ercot Interconnection) в Техасе. Эти три сети десятилетиями работают почти независимо, как отдельные острова, причем восточная сеть подразделена на региональные куски подобно картинке–головоломке.

В 2009 г. региональные операторы Восточного соединения представили план общесистемной модернизации, в котором предусматривалось, что к 2024 г. 20% потребности сети в электроэнергии должны будут обеспечивать ветроэлектростанции. План требовал постройки 24 тыс. км «наложенных» линий, половину которых должны составить линии постоянного тока. Конкретные маршруты не были предусмотрены, но линии могли пройти по существующим полосам отвода либо вдоль железнодорожных линий или даже автострад. План был заморожен, отчасти из–за разногласий по поводу распределения затрат. Одним из вариантов было строительство «коммерческих» линий, подобных платным автодорогам, построенным частными компаниями. Сегодня таких дорог сохранилось немного. Но такой подход годится только для тех случаев, когда продавец и покупатель энергии жестко связаны между собой, а значит, только для линий постоянного тока. Вариант для линий переменного тока состоит в разделении затрат между производителями электроэнергии и потребителями, которых они будут обслуживать. Однако некоторые передающие организации столкнулись с долгими спорами по поводу конкретной фор-

мулы этого разделения. Компания Southwest Power Pool предложила систему, одобренную в июне 2010 г. Федеральной нормативной комиссией по энергетике, в рамках которой высоковольтные линии рассматриваются как автомагистрали, и затраты на них делятся между всеми энергетическими компаниями региона. Низковольтные линии рассматриваются как местные дороги, и затраты на них считаются местным делом. Затраты же на линии промежуточного напряжения должны распределяться.

Однако для линий постоянного тока такая схема непригодна, поскольку эти линии не приносят дохода никому, кроме тех, кто сидит на концах такой линии. Линия, начинающаяся в одной из Дакот и заканчивающаяся в Чикаго, будет бесполезной для Миннесоты, Висконсина и Айовы. Затраты на передачу по такой линии могут быть заложены в цену электроэнергии. Опробование такой схемы ведет компания Hydro Quebec на своей новой линии, обслуживающей Новую Англию.

В итоге план для Восточного соединения провалился, когда Нью–Йорк и штаты Новой Англии заявили, что предпочтение в нем отдается получению энергии ветра на Великих равнинах и передачу ее на восточное побережье. Восточные штаты сочли, что он мешает развитию ветроэнергетики у берегов Атлантического океана, и отказались от участия в нем.

В штате Нью–Мексико вблизи места соприкосновения всех трех больших соединений разрабатывается другой подход к их интеграции. В каждой из этих сетей ток меняет направление 60 раз в секунду строго в один и тот же момент, как танцоры в кордебалете. Но сами сети танцуют несогласно, подчиняясь каждая своему ритму.

Для обмена энергией между этими сетями необходимы преобразование переменного тока одного региона в постоянный, передача последнего в соседний регион и обратное преобразование его там

в переменный ток нужной синхронизации. Между тремя системами существует восемь таких связок постоянного тока, но они в совокупности способны передавать всего 1,5 тыс. МВт, что соответствует мощности двух крупных угольных электростанций.

Частная компания Tres Amigas предлагает построить в Кловисе (штат Нью-Мексико) единый узел (передаточную станцию) для передачи больших потоков энергии между всеми тремя соединениями. Кремниевые силовые электронные устройства – не те чипы размером с ноготь, что работают в компьютерах, а столбики полупроводника размерами со стопку обеденных тарелок – будут рассеивать поток переменного тока на короткие отрезки и реорганизовывать их так, чтобы получился постоянный ток. Этот постоянный ток будет передаваться по сверхпроводящим кабелям с исключительно малыми потерями на другой терминал, где другие полупроводниковые устройства будут преобразовывать его обратно в переменный ток. Такой узел, который обойдется, по оценкам, в \$1 млрд, сможет передавать мощность до 5 тыс. МВт. А если будут созданы более мощные и надежные силовые электронные устройства, мощность узла можно будет увеличить до 30 тыс. МВт. Этот большой узел будет служить якорем для всех трех систем, передавая энергию и препятствуя нестабильностям.

Tres Amigas рассчитывает зарабатывать деньги, взимая плату за передачу энергии и, возможно, содействуя созданию рынка для торговли мощностью, как на фондовой бирже торгуют ценными бумагами. Кроме того, она сможет продавать свои услуги по стабилизации напряжения или частоты.

Препятствия маячат и здесь. Техас сегодня не подчиняется Федеральной нормативной комиссии по энергетике, и входящие в его соединение компании не желают такого подчинения. Однако штат может и выиграть от создания такого узла. «Техас построил всю ветроэ-

нергетику и выступает против преград, не имея достаточного количества покупателей вырабатываемой энергии», – считает Филипп Харрис (Phillip G. Harris), главный управляющий Tres Amigas и бывший президент крупнейшего в США оператора энергосистем, компании PJM. Другие регионы с возобновляемыми источниками также смогут продавать свою энергию.

### Действие или противодействие

Одно из главных препятствий на пути создания истинно общенациональной суперсети – ее географический и финансовый масштаб. Федеральному правительству для организации и финансирования строительства такой суперсети потребуются, вероятно, достаточно мощный мандат на развитие возобновляемых источников энергии. Другим путем может стать установление адаптируемых расценок на углеродсодержащие топлива или расценок на выбросы углекислого газа, что либо позволит получить средства на строительство, либо даст преимущества возобновляемой энергии и тем побудит частный сектор финансировать строительство суперсети, чтобы поставлять эту энергию.

Однако сегодня перспективы неясны. Планирование линий электропередачи остается прерогативой штатов, поскольку именно они контролируют решения об использовании земель. Без сильного давления со стороны мандата на развитие возобновляемых источников энергии или взимания платы за выбросы углерода «не будет серьезного стимула для реализации плана строительства общенациональной системы энергопередач», – заключил Джей Апт (Jay Apt), исполнительный директор Центра электроэнергетики Университета Карнеги – Меллона (Carnegie Mellon University's Electricity Industry Center).

Действительно, в марте 2010 г. созданная незадолго до этого Коалиция за стратегию справедли-

вой передачи энергии, в которую входят принадлежащие инвесторам гигантские энергокомпании, а также общественные энергетические кооперативы, демократы и республиканцы из Конгресса и чиновники энергетических ведомств штатов высказалась против мощной общенациональной энергосети, планируемой из центра и широко финансируемой, которая будет продвигать использование возобновляемых источников энергии. Эта группа пытается помешать Федеральной нормативной комиссии по энергетике одобрить несколько крупных маршрутов передачи энергии из богатых ветрами районов в средней части континента к центрам потребления по всей стране. Другие критики спрашивают, имеет ли вообще эта комиссия право одобрять такие линии. Сенатор Рон Уайден от Орегона, член упомянутой Коалиции, сравнивает предлагаемые линии электропередачи с газопроводами для перекачки топлива между Нью-Йорком и северной частью Калифорнии, которые могли бы пройти через Орегон «без прямой выгоды для населения моего штата». Однако современная сеть может принести преимущества населению всех штатов, поставляя эффективную и более дешевую энергию в соединенные между собой сети повсюду и снизив вероятность перебоев с подачей электроэнергии. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

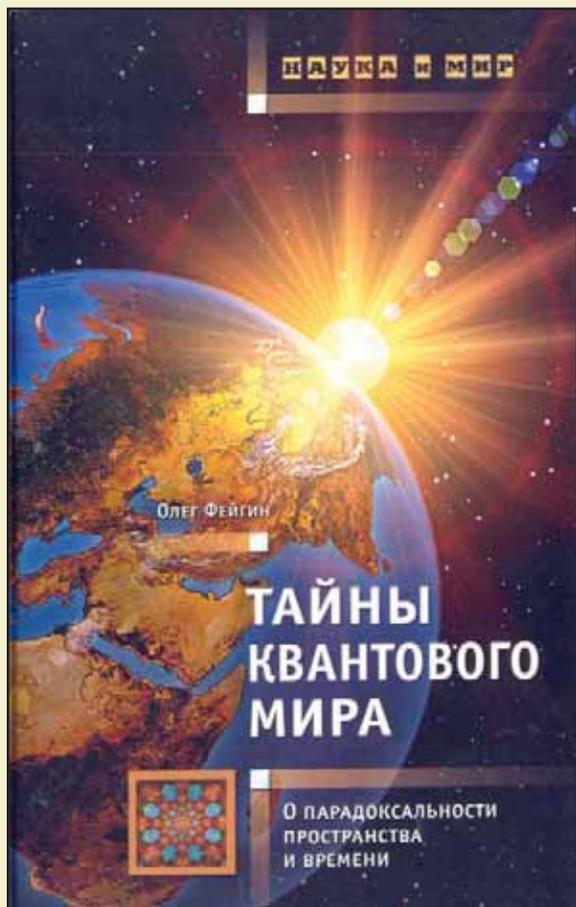
■ Eastern Wind Integration and Transmission Study. National Renewable Energy Laboratory, January 2010: [www.nrel.gov/wind/systemsintegration/ewits.html](http://www.nrel.gov/wind/systemsintegration/ewits.html)

■ Joint Coordinated System Plan 2008. Executive summary: <http://graphics8.nytimes.com/images/blogs/greeninc/jointplan.pdf>

■ 20% Wind Energy by 2030. U.S. Department of Energy, July 2008: [www1.eere.energy.gov/windandhydro/pdfs/41869.pdf](http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/pdfs/41869.pdf)

План объединения трех отдельных сетей Америки: [www.tresamigasllc.com](http://www.tresamigasllc.com)

# НАУКА И МИР



**Фейгин О.О.** Тайны квантового мира. О парадоксальности пространства и времени. М.: Аст–пресс, 2010.

Книжная серия «Наука и мир», выпускаемая издательством АСТ, состоит из научно-популярных книг современных российских авторов, среди которых – ведущие в своих областях ученые. Они ярко и интересно рассказывают о явлениях окружающего нас мира, методах, используемых в научных исследованиях, открытиях и промахах, гипотезах, проблемах и направлениях поисков. В первом подборе монографий предлагаются следующие темы: существуют ли люди с паранормальными способностями, скоро ли человечество раскроет все тайны генома человека и создаст организмы с заданными свойствами, зачем нужно строить модели Вселенной с множеством миров, и, наконец, все ли тайны растительного мира открыты. Все книги отличаются современным полиграфическим исполнением и конструктивно-художественным сопровождением авторского текста.

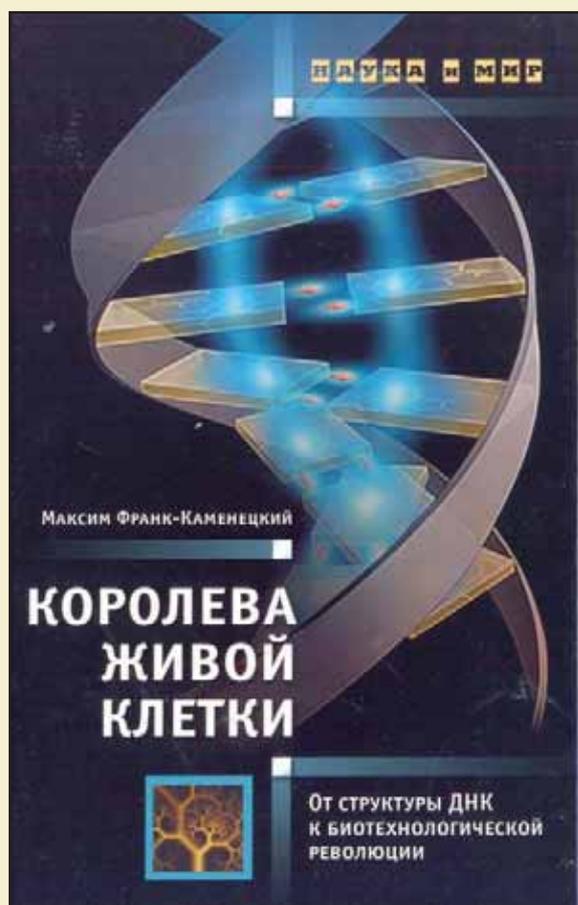
Важно, что все авторы – не просто известные ученые, специалисты в своих областях, но и люди, владеющие слогом, умеющие писать понятные книги для широкого круга читателей.

Доктор физико-математических наук, профессор Э.Э. Годик занялся экстрасенсами неожиданно для себя, ему захотелось понять, почему он почувствовал на коже ожог после общения с таким человеком. Начав работать в специальной лаборатории, он стал исследовать организм «в его собственном свете». В результате ученые пришли к целостному восприятию организма человека и прогнозам о будущей новой медицине.

Нераскрытые возможности в изучении природных явлений показывает известный российский ботаник, доктор биологических наук, профессор Российского государственного аграрного университета О.А. Коровкин



**Годик Э.Э.** Загадка экстрасенсов: что увидели физики. М.: Аст–пресс, 2010.



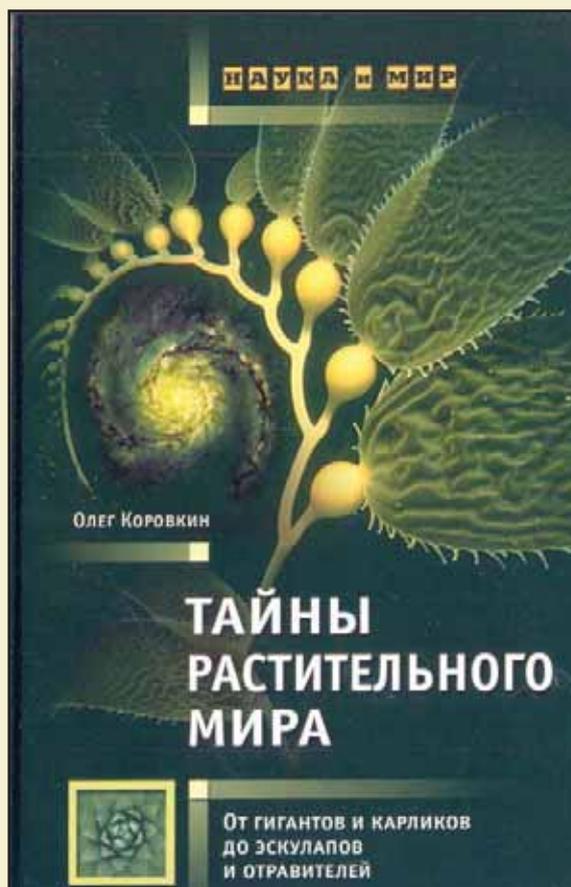
Франк–Каменецкий М.Д. Королева живой клетки. М.: Аст–пресс, 2010.

в книге о мире растений. В ней описаны не только чудеса флоры и интересные факты из повседневной биологии (из какой крупы варится перловая каша; хрен – родственник капусты); рассказывается также о физиологии растений, которая ничуть не проще физиологии животных или человека. Ведь растения действительно живые, способны погружаться в почву и даже перемещаться по ней, не говоря о том, что деревья могут поднимать воду по своим стволам, причем достаточно высоко. А есть еще растения–помощники, растения–лекари, растения–кормильцы.

О ДНК сегодня рассуждают даже слишком часто, ведь ее молекула – едва ли не самая главная в нашем организме. Профессор Бостонского университета, известный специалист в области ДНК М.Д. Франк–Каменецкий показывает, как идеи и методы точных наук преобразили биологию. Он подробно рассказывает о тернистом пути, по которому прошли биологи во второй половине XX в. После открытия структуры ДНК стали реальностью расшифровка генома человека, генная инженерия, ДНК–диагностика и многие другие идеи, еще недавно казавшиеся

фантастикой, например стволовые клетки. На самом деле все должно быть просто, впереди создание организмов с заданными свойствами, выработка лекарств с нужными компонентами и лечение пока неизлечимых болезней.

Самые абстрактные категории рассматриваются доктором физико–математических наук, профессором, действующим членом УАН О.О. Фейгиным. Эксперимент по имитации марсианского полета все–таки начался. Значит и метagalaktiki, черные дыры, застывшие звезды могут стать реальностью. Рассуждая о квантовой механике, моделях построения и развития Вселенной, автор также увлекательно рассказывает о столпах квантовой физики – Максе Планке, Альберте Эйнштейне, о моделях многомирной Вселенной, а также о современных исследованиях в квантовой физике, например о Большом адронном коллайдере. Много говорилось о том, что его запуск станет причиной образования черной дыры, в которую засосет всю Солнечную систему. О.О. Фейгин показывает, что по расчетам ученых и инженеров такого произойти не должно, хотя вероятность образования малых черных дыр существует. Фантастические прогнозы, еще недавно казавшиеся вымыслом, становятся понятной реальностью.



Коровкин О.А. Тайны растительного мира. М.: Аст–пресс, 2010.

# ГЕОГРАФИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

В 1970 г. было принято решение создать музей истории РГО. Первым экспонатом музея стал небольшой деревянный кораблик, который бесхозно лежал на заднем дворе Музея Арктики и Антарктики. Макет государственной шхуны «Удача» начала XIX в. был восстановлен. Экспонаты музея Русского географического общества – в основном дары членов общества. В коллекции музея имеется шкатулка, принадлежавшая И.Ф. Крузенштерну, побывавшая с ним в первом русском кругосветном плавании (1803–1806). Особый экспонат – письмо Великого князя Николая Михайловича, которое он направил в 1917 г. вице–председателю общества Ю.М. Шокальскому

Более полутора веков Русское географическое общество ведет научно–исследовательскую деятельность. Результаты работы общества хранятся в крупнейшем в России и Европе специализированном архиве. Он состоит из 136 личных фондов географов и путешественников, 115 коллекций по этнографии народов России. Российские и зарубежные ученые могут познакомиться с результатами экспедиций и научными работами Н.М. Пржевальского, Г.Е. Грум–Гржимайло, П.К. Козлова, Н.Н. Миклухо–Маклая и др. Работа с рукописями Пржевальского, отчетом Русской экспедиции 1889 г. в Афганистан, или подлинными рисунками Миклухо–Маклая – уникальная возможность междисциплинарных исследований. К сожалению, большая часть документов до недавнего времени находилась в плачевном состоянии.

Русским географическим обществом был учрежден грант для реставрации и обеспечения сохранности архивов и ценных изданий РГО, создания условий для их доступности. Сюда входят реставрационная консервация книг и документов архива РГО, обеспечение надлежащих условий хранения, каталогизация документов, размещение матери-

алов в открытом доступе в Интернете, переиздание основных трудов российского географа и геополитика В.П. Семенова–Тян–Шанского, а также редких изданий работ ученых РГО.

Обследованием и восстановлением фондов архива Русского географического общества занимаются специалисты из лаборатории реставрации и консервации документов Санкт–Петербургского филиала архива РАН. Вот мнение старшего научного сотрудника лаборатории, руководителя группы реставрации, художника–реставратора высшей квалификации Л.В. Кудояровой: «Документы архива РГО совершенно разноформатные. Они отличаются типами чернил, фактурой бумаги, поэтому выбрать единую методику их восстановления невозможно. Все документы были поделены на группы, и к каждой группе подобрана своя методика». Например, документы до 1850 г. писались качественными и стойкими изготовленными вручную чернилами, которые практически не «плывут». С более поздними документами начинаются проблемы, поэтому методику восстановления определяли для каждого листа.

Проанализировав состояние материалов, охватывающих период с середины XIX в. до середины

XX в. – начала Великой Отечественной войны, – специалисты разделили выявленные повреждения на несколько групп: механические (разрывы, трещины по краям листов, потертости и износ), микологические (пятна плесени, появившиеся на документах после увлажнения в аварийных ситуациях) и химические (разрушение бумаги документа под влиянием силикатного клея и железогалловых чернил).

В процессе работы признаков порчи документов насекомыми не выявлено. При микробиологическом обследовании выяснилось, что в пораженных плесенью документах нет живых мицелиев и спор. Это говорит о том, что повреждение старое, и в нем нет жизнеспособных грибов. Такие документы не нуждаются в дезинфекции, в отличие от пыльных документов, где были обнаружены живые споры грибов, способных разрушать бумагу. Перед тем как попасть в отремонтированное помещение архива, инфицированные материалы пройдут гигиеническую обработку.

Большие проблемы связаны с силикатным клеем, которым в 1960–е гг. к историческим обложкам документов были приклеены «листы использова-

ния». Под воздействием выделяемой клеем щелочи бумага обесцветилась и частично разрушилась. Теперь клей собираются удалять механическим способом и вкладывать в документы прокладки из микалентной бумаги. Для хранения рукописей важно также изготовить контейнеры из нейтрального картона, который не будет подвергаться окислению. Все материалы, содержащиеся в них, отсканированы на профессиональном сканере.

Важный этап сохранения наследия РГО – обеспечение надлежащих условий хранения, ремонт помещений и обеспечение их необходимым оборудованием. Здание штаб-квартиры РГО долго не реставрировалось, поэтому сильно обветшало, от постоянной сырости появилась плесень, грозящая уничтожить хранящиеся в архиве уникальные рукописи и другие материалы. В настоящее время Дом географии находится на реставрации. Здание планируется не только сохранить, но и сделать более современным, способным обеспечить необходимые условия хранения для уникальных архивов. Штаб-квартира общества не закрылась даже в годы блокады во время Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. Благодаря самоотверженной работе картографов географического общества была по-



строена «Дорога жизни», которая помогла выжить жителям Ленинграда в блокаду. Парадоксально, но экспонаты, бережно хранимые сотрудниками музея и архива во время блокады Ленинграда, едва не погибли в мирное время. И только работа настоящих энтузиастов – Л.И. Яруковой и М.Ф. Матвеевой – спасла архив и музей РГО. М.Ф. Матвеева, заведующая архивом РГО, работает в архиве с 1971 г., еще тогда она нашла фотоальбом президента общества Н.И. Вавилова, репрессированного в 1940 г. Альбом был спрятан за одним из шкафов архива.

Сегодня стоит задача не прятать, а сделать доступными сокровища архива путем каталогизации всех архивов, оцифровки материалов и их размещения в открытом доступе на сайте РГО. ■

**Дмитрий Мисюров**

В архиве РГО хранятся уникальные материалы по экспедиции Е.П. Ковалевского и Л.С. Ценковского по Южному Египту. Паша Египта Мухаммед Али был одержим идеей найти таинственную страну Офир, где, согласно старинным арабским рукописям, добывали сокровища для египетских фараонов и царя Соломона. Не имея в распоряжении собственных квалифицированных специалистов, Мухаммед Али обратился за помощью к России. 20 января 1848 г. Русским географическим обществом была направлена в Египет экспедиция во главе с известным геологом Е.П. Ковалевским. Для подробного описания местной флоры и фауны его сопровождал биолог Л.С. Ценковский. Опыт геологоразведки, приобретенный Ковалевским на Урале, дал прекрасные результаты в Африке – ученым был открыт богатейший золотоносный слой. При поддержке русских инженеров и по образцу уральских и алтайских предприятий в верховьях Нила была построена золотодобывающая фабрика. Ботаник Ценковский тем временем изучал африканскую природу и открыл в сеннарских лесах новый вид пальмы – дулеб. По возвращении в Петербург Е.П. Ковалевский опубликовал двухтомный труд «Путешествие во Внутреннюю Африку», Л.С. Ценковский же подготовил подробный отчет об экспедиции для «Географических известий»

## КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.
2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.
3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:
  - по адресу 119991, г. Москва, ГСП-1 Ленинские горы, д. 1, кор. 46, офис 138, редакция журнала «В мире науки»;
  - по электронной почте [podpiska@sciam.ru](mailto:podpiska@sciam.ru), [info@sciam.ru](mailto:info@sciam.ru);
  - по факсу: +7(495) 939-42-66

**Стоимость подписки на первое полугодие 2011 г. составит:**

Для физических лиц: **1140 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью\*.

Для юридических лиц: **1500 руб. 00 коп.**

Стоимость одного номера журнала: за 2005–2006 гг. — **50 руб. 00 коп.**, за 2007 г. — **70 руб. 00 коп.**, за 2008 г. — **80 руб. 00 коп.**; за 2009 г. — **100 руб. 00 коп.** — **первое полугодие, 110 руб. 00 коп.** — **второе полугодие**; за 2010 г. — **120 руб. 00 коп.**

(без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **70 руб.**

Номера журнала за 2003–2004 гг. предоставляются в редакции бесплатно.

Бланк подписки на журнал размещен на сайте [www.sciam.ru](http://www.sciam.ru).

**Уважаемые подписчики! После подтверждения платежа вы будете получать журнал ежемесячно с доставкой на отделение почтовой связи.**

\* Если ваша заявка о подписке получена до 10 числа месяца, то, начиная со следующего месяца, с почты вам начнут приходить уведомления о заказной бандероли. Такая система доставки журналов гарантирует 100%-ное получение. За доставку простой бандеролью редакция ответственности не несет.

### БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010 г.												
2009 г.												
2008 г.												
2007 г.												
2006 г.												
2005 г.												
2004 г.												
2003 г.												

\* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

Индекс \_\_\_\_\_

Область \_\_\_\_\_

Город \_\_\_\_\_

Улица \_\_\_\_\_

Дом \_\_\_\_\_ Корп. \_\_\_\_\_ Кв. \_\_\_\_\_

Телефон \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

ЗАО «В мире науки»  
 Расчетный счет 40702810100120000141  
 в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187  
 Корреспондентский счет 30101810700000000187  
 ИНН 7709536556; КПП 770901001

\_\_\_\_\_  
 Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик

**■ ПОДПИСКА НА ПЕРВОЕ ПОЛУГОДИЕ 2011 г. НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ТОЛЬКО ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ**

ЗАО «В мире науки»  
 Расчетный счет 40702810100120000141  
 в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187  
 Корреспондентский счет 30101810700000000187  
 ИНН 7709536556; КПП 770901001

\_\_\_\_\_  
 Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик



**ОЧЕВИДНОЕ**  
**НЕВЕРОЯТНОЕ**

...О сколько нам открытий чудных  
Готовит просвещенья дух,  
И опыт, сын ошибок трудных,  
И гений, парадоксов друг,  
И случай, бог изобретатель...

*А. Пушкин*

**ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ**  
НА КАНАЛЕ «КУЛЬТУРА» ПО СУББОТАМ ПРОГРАММА С.П. КАПИЦЫ

Читайте в следующем  
выпуске журнала



**ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР**

Специальный репортаж об идеях, тенденциях и технологиях, способных преобразовать нашу жизнь

**ОТКРЫТИЯ, КОТОРЫЕ СЛЕДОВАЛО БЫ ЗАКРЫТЬ**

Выборка из списка изобретений, без которых миру лучше было бы обойтись

**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ВСЕГО**

Частицы и силы нашей Вселенной как манифестация некоей особой геометрии

**КРОВЬ ИЗ КАМНЯ**

Изучение костей динозавров показывает, что вопреки принятому представлению мягкие ткани способны сохраняться в ископаемых останках миллионы лет

**ГАЛЛЮЦИНОГЕНЫ КАК ЛЕКАРСТВО**

Вещества, изменяющие сознание, уже спустя десятилетия могут войти в арсенал терапевтов

**МНОГАЯ ЛЕТА ИНТЕРНЕТУ**

Изобретатель Всемирной паутины объясняет, почему Интернет важен не только для цифровой революции, но и для нашего благосостояния, и даже более того – для нашей свободы

**ЖУКИ-КИБОРГИ**

Крошечные летучие роботы когда-нибудь смогут спасти жизни во время войн и катастроф



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

- АНОНСЫ
- НОВОСТИ
- СТАТЬИ
- архив
- ПОДПИСКА