

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC  
AMERICAN

# В мире науки

№6 2006

## Может ли ДНК остановить время?

Модель  
супер-  
СОЗНАНИЯ

Защитить  
покорителей  
КОСМОСА

Ядерный  
терроризм

Химия  
становится  
ЗЕЛЕННОЙ



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



# содержание

ИЮНЬ 2006

## ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 14 АСТРОФИЗИКА**  
**ЗАЩИТА КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ**  
Юджин Паркер  
*За год, проведенный человеком в межпланетном пространстве, космические лучи способны уничтожить треть его ДНК. Как защитить космонавтов?*
- 22 БИОТЕХНОЛОГИИ**  
**СЕКРЕТ ГЕНОВ ДОЛГОЛЕТИЯ**  
Дэвид Синклер и Ленни Гайренте  
*Гены, которые помогают организму пережить трудные времена, положительно влияют на состояние здоровья и продолжительность жизни всех живых существ. Разобравшись в механизме их работы, мы сможем подойти к решению проблемы сохранения трудоспособности в старческом возрасте*
- 30 ЭКОЛОГИЯ**  
**КИСЛЫЙ ОКЕАН?**  
Скотт Доней  
*Большая часть двуокси углерода, образующейся при сжигании ископаемых видов топлива, попадает в океан, в результате происходит изменение кислотного баланса морской воды. Последствия для жизни морских организмов могут быть чудовищны*
- 38 МАТЕМАТИКА**  
**ПРЕДЕЛЫ ДОКАЗУЕМОСТИ**  
Грегори Чейтин  
*Оказывается, существует бесконечное множество верных математических теорем, которые невозможно доказать, исходя из конечной системы аксиом*
- 46 ХИМИЯ**  
**МАЛЕНЬКИЕ ЗЕЛЕННЫЕ МОЛЕКУЛЫ**  
Терренс Коллинз и Чип Уолтер  
*Химики выделили новый класс катализаторов, которые в состоянии уничтожать самые серьезные загрязнители, прежде чем они попадут в окружающую среду*
- 54 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ЛИЦО ПРЕЗИДЕНТА**  
Джеффри Шварц  
*Американский антрополог Джеффри Шварц при помощи компьютерной программы для обработки трехмерной графики воссоздал достоверные изображения Джорджа Вашингтона в возрасте 19, 45 и 57 лет*
- 62 БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**ПРОТИВОСТОЯТЬ ЯДЕРНОМУ ТЕРРОРИЗМУ**  
Александр Глазер и Франк фон Хиппел  
*Высокообогащенный уран, сосредоточенный в научно-исследовательских атомных реакторах, может стать объектом внимания террористов*

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

**Главный редактор:** С.П. Капица

**Заместитель главного редактора:** В.Э. Катаева

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

**Арт-директор:** Л.П. Рочева

**Ответственный секретарь:** О.И. Стрельцова

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

**Выпускающий редактор:** М.А. Янушкевич

**Спецкорреспондент:** Д.В. Костикова

**Над номером работали:**

 А.В. Банкрашков, Е.Г. Богадист, Е.Н. Демьгина,  
 О.В. Закутняя, Д.В. Кислов, Д.А. Мисюрлов,  
 О.О. Непомнящий, Т.В. Потапова, И.Е. Сацевич,  
 В.В. Свечников, В.Г. Сурдин, П.П. Худoley,  
 Н.Н. Шафрановская

**Научные консультанты:**

 заместитель председателя Геоморфологической Комиссии  
 РАН, профессор института географии РАН В.П. Чичагов;  
 доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент  
 РАМН, руководитель отдела системогенеза Института  
 нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН К.В. Анохин

**Верстка:** А.Р. Гукасян

**Корректурa:** Я.Т. Лебедева

**Секретарь:** О.С. Быковская

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

**Коммерческий директор:** В.И. Левицкий

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

**Отдел распространения:** Л.В. Старшинова

**Подписка:** О.А. Флакова

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

**Менеджер по рекламе:** В.П. Мостинская

**Адрес редакции:**

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

**Телефон:** (495) 727-35-30, тел./факс (495) 105-03-72

**e-mail:** edit@sciam.ru; www.sciam.ru

**Размещение рекламы:** Рекламное агентство ООО «Видео  
 Интернешнл-пресс ВИ», 121522, Москва, ул. Оршанская,  
 д. 3, тел. (495) 956-33-00, факс 737-64-87

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

 Отпечатано в Эстонии, типография **Printall**
**© В МИРЕ НАУКИ**

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

**Тираж:** 40 000 экземпляров

Цена договорная.

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

## SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

**Editor in Chief:** John Rennie

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

**News Editor:** Philip M. Yam

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

**Art director:** Edward Bell

**Vice President and publisher:** Bruce Bradford

**Chairman emeritus:** John J. Hanley

**Chairman:** John Sargent

**President and chief executive**  
**officer:** Gretchen G. Teichgraber

**Vice President and managing director,**  
**international:** Dean Sanderson

**Vice President:** Frances Newburg

© 2004 by Scientific American, Inc.

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

## РАЗДЕЛЫ:

### ОТ РЕДАКЦИИ

## МОШЕННИК В БЕЛЫХ ОДЕЖДАХ

3

### 50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

4

## СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

6

- Судьба полярных спутников
- Победитель получает все
- Пешня, шпага или сенсор?
- В Галактике жителей прибавилось
- Тест на пандемичность
- Критическая масса
- Надписи с морского дна
- Динозавры щипали траву
- Когда заканчивается медовый месяц
- Язык и зрение
- Венеры Зарайские

## ОЧЕВИДНОЕ — НЕВЕРОЯТНОЕ ИГРЫ РАЗУМА

70

**Тина Катаева**

*Исследователи, начавшие заниматься проблемой  
искусственного интеллекта, были оптимистами.  
Им казалось, что недалек тот час, когда будет  
сконструирована машина, мыслящая как человек, а не  
только умеющая играть в шахматы. С тех пор прошло  
полвека, а мы по-прежнему на исходной позиции*

### МНЕНИЕ

## ПУСТЫНЯ НАСТУПАЕТ

80

**Дмитрий Мисюрлов**

*Одна из острейших геоэкологических проблем  
современности – опустынивание и засуха на нашей  
планете*

### ЛАБОРАТОРИЯ

## КОЛЕНКА — ВИД ИЗНУТРИ

90

**Татьяна Потапова**

*Новые методы артроскопии расширяют возможности  
терапии коленного сустава*

## ОБЗОРЫ:

### КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

92



# МОШЕННИК В БЕЛЫХ ОДЕЖДАХ

Прошло более 50 лет с того времени, как в истории с Пилтдаунским человеком была поставлена точка. Однако эта афера до сих пор будоражит умы палеоантропологов. Сегодня не менее грандиозный скандал разразился в области биологии. Связан он с именем известного «манипулятора» со стволовыми клетками, южнокорейского ученого Хван У Сока, который в 2004–2005 гг. не раз заявлял о клонировании им эмбриональных стволовых клеток (ЭСК) человека, что вызвало бурю восторга и породило массу надежд. Сегодня все надежды рухнули: оказалось, что результаты Хвана не просто ошибочны — они сфальсифицированы.

Исследования в области эмбриональных стволовых клеток уже не сулят золотых гор, как это было до разоблачения мошеннических трюков Хвана, хотя большинство специалистов по-прежнему уверены, что их усилия могут привести к революционным изменениям в медицине. И то, что пока никому не удалось получить ЭСК из клонированного человеческого эмбриона, означает лишь одно: скоро сказка сказывается, да не скоро дело делается.

Хван нанес огромный ущерб репутации молодой области науки, представив противникам клонирования ЭСК новый веский аргумент, ставящий под сомнение этичность экспериментов со стволовыми клетками человека. За преступление против своих коллег-ученых Хван должен получить по заслугам. (Наш скромный вклад в это дело — исключение

фамилии Хвана из списка авторов нашего журнала за 2005 г.)

В последние годы были разоблачены мнимые научные достижения и открытия в области иммунологии, новых методов лечения рака молочной железы и аневризмы головного мозга, ложными оказались многие заявления об открытии новых химических элементов и т.д. Возможно, причиной громких заявлений и скоропалительных выводов стала жесткая конкуренция за денежные средства между университетами и корпорациями, не говоря уже о борьбе за лидерство разных стран. Соперничество, особенно в такой прибыльной области, как применение стволовых клеток, привело к тому, что многие ученые стремятся как можно быстрее обнародовать результаты своих исследований даже тогда, когда они не подтверждены должным образом.

Редакторы и рецензенты научных журналов далеко не всегда имеют возможность проверить достоверность публикуемых данных и компетентно оценить научную ценность сведений, изложенных в предоставленной им статье. Да и задача у них другая: они должны дать оценку разумности методики, убедительности рассуждений и выводов. Опровержение представленных данных — дело последующих публикаций.

В этом контексте становится очевидным, насколько высока ответственность ученых не только за результаты их исследований, но и за достоверное информирование



С нелегкой руки Хван У Сока стволовые клетки приобрели дурную репутацию

общества. Поэтому недостаточно просто изгнать Хвана из научного сообщества, необходимо извлечь из этого прискорбного случая уроки на будущее. Возникает закономерный вопрос: если «мошенник в белых одеждах» писал статьи не один, а в соавторстве с коллегами, которые могли знать о подтасовке фактов, то какая ответственность лежит на этих людях? Какими правами должны обладать соавторы, чтобы с них можно было спрашивать по всей строгости за недостоверность представленных данных?

Нас беспокоит также и то, что фальшивка так долго оставалась необнаруженной. Возможно, часть вины лежит на самих ученых и на журналистском сообществе. Уж очень хотелось, чтобы все, что обещал Хван, сбылось как можно скорее! Ведь речь шла об излечении многих серьезных болезней. Хван безусловно виновен в том, что подогревал ожидания людей, но многие из нас помогли ему в этом.

### Отставка Лысенко ■ Борьба за качество ■ Фотографии со дна

#### ИЮНЬ 1956

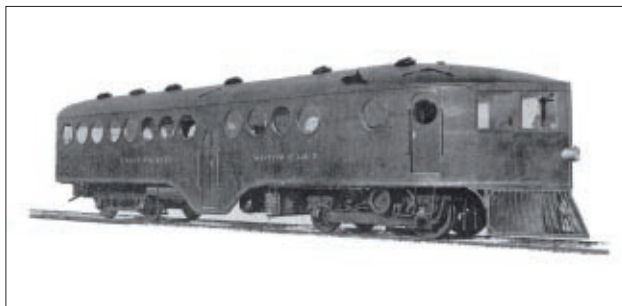
**АНТИПРОТОН.** «Поскольку для создания антипротонов требуется колоссальная энергия, ученые искали их в космических лучах. Несколько раз были зарегистрированы события, свидетельствующие о возникновении антипротона, но достоверно распознать его никогда не удавалось. Когда Беватрон, расположенный в Калифорнийском университете, начал обстреливать медную мишень протонами с энергией 6 ГэВ, встал вопрос: как обнаружить возникающие антипротоны? В ходе экспериментов, разработанных Оуэном Чемберленом и Томасом Ипсилантисом совместно с авторами этой статьи, в эмульсионных камерах были зарегистрированы треки 20 антипротонов» — Эмилио Сегре и Клайд Виганд (в 1959 г. Эмилио Сегре получил Нобелевскую премию по физике — прим. ред.).

**ПОЛИТКОРРЕКТНАЯ КУКУРУЗА.** В апреле Трофим Денисович Лысенко, безраздельно властвовавший в советской генетике, был снят с поста президента Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. Ленина. После 15 лет политической травли генетика Менделя снова нашла признание в Советском союзе: на колхозных полях стали выращивать гибридную кукурузу, не вписывающуюся в лысенковскую теорию наследования приобретенных признаков. За неделю до отставки Лысенко официальная Москва сообщила о намерении опубликовать научные труды его противника, выдающегося ученого Николая Ивановича Вавилова, скончавшегося в ссылке в 1943 г.

#### ИЮНЬ 1906

**О ВКУСНОЙ И ЗДОРОВОЙ ПИЩЕ.** Согласно поправке Бевериджа к проекту Закона о сельском хозяйстве, для пресечения недавно выявленных нарушений санитарных норм на североамериканских консервных заводах будут проведены специальные государственные инспекции. К сожалению, предложенный законопроект охватывает лишь некоторые продукты питания. Очевидно, необходимо контролировать качество не только говядины, баранины, козлятины и свинины, но и рыбы, мяса домашней птицы и яиц.

**ЛОКОМОТИВ №7.** На иллюстрации изображен новый локомотив, разработанный для пригородных пасса-



Локомотив №7, Тихоокеанская железнодорожная компания, 1906 г. жирских перевозок. «Номер семь» был собран в Омахе, штат Небраска, на заводе Тихоокеанской железнодорожной компании. Недавно он успешно прошел серию испытаний на участке Омаха–Гранд-Айленд. Первое, что бросается в глаза, — это круглые окна, напоминающие иллюминаторы, заостренная передняя часть и удобные двери по бокам машины. Мощный шестицилиндровый бензиновый двигатель расположен над передней тележкой.

#### ИЮНЬ 1856

**ПЕРВОЕ ПОДВОДНОЕ ФОТО.** С помощью специального устройства г-н Томпсон из Уэймута сфотографировал морское дно на глубине 5,5 м. Для этого он поместил фотокамеру в герметичный ящик со стеклянной стенкой и подвижным затвором, который был поднят, когда аппарат опустился на дно. Там фотопластинка экспонировалась в течение 10 минут, после чего ящик был вытаскен из воды. Затем изображение было обработано традиционным способом. На фотографии отчетливо видны камни и водоросли, произрастающие на дне Уэймутского залива. Г-н Томпсон считает, что с помощью изобретенного им аппарата можно изучать состояние пирсов, мостов, свай и других подводных конструкций.

**ТЕХАССКИЕ ВЕРБЛЮДЫ.** Недавно в залив Матагорда, штат Техас, прибыло судно с арабскими верблюдами, привезенными с берегов Средиземного моря специальной правительственной экспедицией. Животные будут использоваться в качестве транспортного средства в пустынях на западе США.

# ВЫШЕЛ ИЗ ПЕЧАТИ ОЧЕРЕДНОЙ НОМЕР ЖУРНАЛА «НАУКА И ЖИЗНЬ»

Тематика статей номера, как всегда, широка и разнообразна.

Дубна и Объединенный институт ядерных исследований практически синонимы. За прошедшие полвека Дубна стала родиной множества открытий. Именно в Дубне появились идеи нейтринных осцилляций, цветных кварков, возникло понятие «дубненский кварковый мешок», зародилась физика ультрахолодных нейтронов. Здесь открыт «остров стабильности» сверхтяжелых ядер, разработаны новые методы синтеза элементов. Только в последние годы — с 1999-го по 2005-й — открыто пять новых химических элементов, включая 118-й... Но не меньшее значение имеет гуманитарная миссия Объединенного института — через совместные исследования окружающего мира способствовать взаимопониманию и взаимодействию между людьми разных стран.

Ст. «Дубна, улица Жолио Кюри».

Применение современных, высокотехнологичных методов лечения ишемической болезни сердца, которая удерживает печальную «пальму первенства» в списке причин смертности в России, должно быть выгодно государству, в том числе и с экономической точки зрения, — считает академик РАМН Юрий Беленков.

Ст. «Первая молодость» ишемической болезни сердца».

Времена перемен, кризисов и катастроф чрезвычайно благодатны для различных манипуляторов человеческим сознанием — от уличных мошенников до организаторов тоталитарных сект. Лишенные привычных координат существования люди легко попадают под влияния шарлатанов, пытаются обрести утерянную устойчивость в ненадежном мире. Размножение и рост сект — объективный и весьма грозный симптом болезни общества и проявления неспособности государства.

Ст. «Криминальное внушение».

Самый дешевый способ освещения жилья — это белый светодиод, работающий от аккумулятора, днем заряжаемого от солнечной батареи. При той же яркости это в 7 раз дешевле, чем освещать комнату лампой накаливания, работающей от сети, почти в 30 раз дешевле, чем сидеть при свечах.

Ст. «Что дешевле — свеча или светодиод».

Однажды я уже писала в журнале — отмечает доктор исторических наук Т. Панова, — о жизни и посмертной судьбе княгини и княжон Старицких из семьи двоюродного брата Ивана Грозного — Владимира Андреевича («Опальный род Старицких», «Наука и жизнь» №7, 1995 г.). Но тогда одну из героинь статьи я лишь упомянула, не зная даже ее имени. Сегодня все изменилось, и дочь Владимира Старицкого, погибшая около четырех с половиной столетий назад, может быть представлена читателю. Ее звали Марией. Более того, журнал «Наука и жизнь», рассказывая о трагичной судьбе князя Старицкого и его семьи, получил возможность первым опубликовать



В ДУБНЕ РОЖДАЕТСЯ НОВЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

ISSN 0028-1263

## НАУКА И ЖИЗНЬ

6  
2006

● «Экватору современной науки» — Объединенному институту ядерных исследований (ОИЯИ) исполнилось 50 лет ● В науке пока не существует единой общепринятой теории эмоций, но то, что чувства есть не только у млекопитающих, похоже, — факт ● Нейтральные  $B_s$ -мезоны превращаются в античастицы и обратно 15 триллионов раз в секунду ● В заповедниках Кении и ЮАР слоны снабдили сотовыми телефонами, чтобы знать, где находится конкретный слон ● Пускание «блинчиков» по воде привело к созданию универсальной теории рикошета.



портрет этой девочки, воссозданный специалистом. Случай уникальный: до сих пор останки детей периода русского Средневековья не были объектом столь пристального изучения и реконструкции.

Ст. «Дети Средневековья. Мария — дочь князя Владимира Старицкого».

С незапамятных времен глиняная свистулька использовалась как простейший музыкальный

инструмент, но еще более известна детская игрушка-свистулька. Как ее вылепить, можно показать за 15—20 минут. Сложнее научить делать свистковое устройство. Для этого нужно четко представлять природу звука. Секретами ремесла делится мастер Вологодской области, призер Международного фестиваля гончаров в городе Скопине Алексей Бондарь.

Ст. «Чистый звук глиняной свистульки».

# судьба полярных спутников



Орбитальный аппарат Национальной системы полярных спутников по исследованию окружающей среды. Запуски по программе могут быть отложены до апреля 2009 г.

Долговременный прогноз погоды с предупреждением о том, на какие области обрушится ураган Катрина, основывался на данных, полученных полярными спутниками. Они собирают информацию не только об Арктике и Антарктике, но и обо всех уголках планеты.

## На борту орбитального аппарата NPOESS планируется установить следующие приборы:

- микроволновые камеры, выявляющие ветер над океаном;
- датчики космической погоды для регистрации возмущений от солнечных вспышек, способных нарушить системы связи и электропитания;
- аэрозольные датчики, способные фиксировать наличие вулканического пепла и своевременно оповещать об опасности, а также помогать военным в наведении на цели;
- цветковые датчики океана, предназначенные для отслеживания косяков рыбы и пятен загрязнения, а также для помощи военному флоту в борьбе с минами;
- поисково-спасательные системы для оказания помощи летчикам, морякам и другим, терпящим бедствие

В настоящее время на вооружении Национального управления по океанам и атмосфере (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) и Министерства обороны США находятся по два полярных спутника.

В 1994 г. было решено создать Национальную систему полярных спутников по исследованию окружающей среды (*NPOESS, National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System*), которая должна обслуживать как гражданское, так и военное ведомство. На шести спутниках должны были установить 14 приборов, что вдвое больше, чем у гражданского или военного ведомств. Однако модернизация космического флота США может не состояться. Дело в том, что бюджет программы уже превышен на \$3 млрд.

После того как в 2002 г. государственный контракт США был передан фирме *Northrop-Grumman*, предполагалось запустить пробный спутник с четырьмя датчиками в мае 2006 г., а первая полноценная замена должна была произойти в 2008 г. Теперь запуск пробного спутника (под управлением NASA) перенесен на апрель 2009 г., соответственно, замена сдвинута на 2012 г.

Компания *Northrop-Grumman* считает, что причиной задержек и увеличения стоимости проекта стали проблемы, возникшие с приборами спутников. Особенно остро встает вопрос с комплексом *VIIRS (Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite)*, т.е. комплектом приборов видимого и инфракрасного диапазонов, предназначенным для исследования облачности и измерения температуры поверхности океанов и материков. Чтобы исправить положение, компания *Raytheon*, субподрядчик по

созданию *VIIRS*, сменила команду инженеров, а *Northrop-Grumman* усилила контроль над субподрядчиками. Существующие военные спутники, вероятно, и после 2012 г. продолжат передавать сведения на Землю, но они не смогут обеспечивать данными NOAA для точного прогноза погоды. Конечно, можно будет использовать спутники NASA и длительные высокоширотные полеты аэростатов, но это не решит проблемы. Инженеры смогут поддерживать в рабочем состоянии пробный спутник. Он уже способен принимать 93% данных, которые мог бы получить полноценно функционирующий спутник. Кроме того, можно попытаться сохранить в рабочем состоянии полярные спутники NOAA и после истечения планируемого срока их службы. Следует также использовать европейские спутники, если формат их данных совместим с американскими моделями прогноза погоды. Пересмотренный план программы должен быть готов весной 2006 г.

NOAA и министерство обороны запустят свои спутники, соответственно, в декабре 2007 г. и октябре 2011 г. Если гражданский спутник упадет во время или сразу после запуска, что происходит с каждым десятым из них (риск при его запуске велик, т.к. подрядчик, «Локхид-Мартин», случайно уронил его и сильно повредил), то нехватка спутников может привести к серьезным последствиям. По словам президента Корпорации университетов по атмосферным исследованиям в г. Боулдер-Сити, Колорадо, Ричарда Антеса (Richard A. Anthes), погрешность в прогнозе траектории движения урагана может составить не десятки, а сотни километров.

Чарлз Чой



# победитель ПОЛУЧАЕТ ВСЕ

Размеры премий, присуждаемых за достижения в области техники, постоянно возрастают. Например, фонд Крэга Вентера (Craig Venter) предлагает не менее \$10 млн. тому, кто разработает технологию, позволяющую снизить стоимость секвенирования (расшифровки) генома человека до \$1 тыс. NASA сулит сумму в \$250 тыс. за аппарат, выделяющий кислород из лунной почвы.

«Все, что изучается и разрабатывается, имеет свою цену, поэтому, чтобы стимулировать исследования, необходимо рисковать своими деньгами», — считает Ян Мерфи (Ian Murphy), директор по связям с прессой фонда *X Prize Foundation*. Размер премии от *Ansari X Prize* за первый частный суборбитальный полет составил \$10 млн., а каждый участник потратил на исследования не менее \$60 млн. Когда же дело сделано, нужно просто заплатить победителю.

Директор бюджетного комитета конгресса США Дуглас Хольц-Эакин (Douglas Holtz-Eakin), выступивший в 2004 г. на заседании подкомитета по космосу и аэронавтике, считает, что изобретатели и исследователи должны получать деньги за то, что они делают.

Кроме размера приза, важен принцип отбора кандидатов. Недостатком многих премий по технике, таких как, например, «Большой вызов», стало отсутствие ступенчатой структуры поощрений. В результате одному победителю присуждают единственную крупную премию, а проигравший теряет все. Однако еще в 1927 г. приз в \$25 тыс., выигранный Чарлзом Линдбергом (Charles Lindbergh) за перелет Нью-Йорк–Париж, был разделен между девятью участниками, семеро из которых потратили гораздо больше денег, чем доставшаяся им часть премии. В следующей программе для



Приз в \$10 млн. выиграл SpaceShipOne

NASA «Вызов века» *X Prize Foundation* объявил трехступенчатую структуру приза: \$150, \$75 и \$50 млн. Как считает Мерфи, это позволит компаниям продолжать поиск инвесторов для создания орбитального пилотируемого аппарата, а конкуренция приведет к снижению цен.

Патрик ди Хусто

## ПЕШНЯ, ШПАГА ИЛИ СЕНСОР?

Спирально закрученный бивень длиной 2,5 м придает нарвалу (киту длиной 4,5–6 м) сходство с волшебным морским единорогом. По мнению некоторых зоологов, этим бивнем животные пробивают отдушины во льду. Другие ученые полагают, что с помощью такой «шпаги» самцы сражаются друг с другом из-за самок. На самом же деле бивень (зуб) может быть гигантским сенсором, используемым китами во время охоты и навигации. Изучив электронные микрофотографии двух бивней, исследователи из Гарвардского университета, Смитсоновского

института и Национального технологического института стандартов обнаружили, что в каждом из них содержится 10 млн. нервов, направляющихся от поверхности зуба к его внутренней части. Вполне возможно, что сверхчувствительный бивень нарвала способен воспринимать тончайшие изменения температуры, давления и солености воды и содержания в ней различных веществ, связанных с присутствием жертв (рыбы и моллюсков). А стоит ли использовать столь совершенный инструмент в качестве «пешни»?

Чарлз Чой



Возможно, бивень нарвала — не оружие и не орудие, а «продвинутый» сенсор

# В галактике жителей прибавилось

Загадка фонового рентгеновского излучения занимает умы астрономов уже более 30 лет. Диск нашей Галактики, на которую мы смотрим с Земли практически «с торца», светится в рентгеновском диапазоне, причем пик яркости излучения приходится на центральную область. Российские астрофизики Михаил Ревнивцев, Сергей Сазонов, Марат Гильфанов, Евгений Чуразов и Рашид Сюняев из Института космических исследований РАН (ИКИ РАН, Москва) доказали, что рентгеновский фон появляется в результате сложения излучений множества единичных источников. При этом главной составляющей выступают аккрецирующие белые карлики в двойных системах, называемые «катаклизмическими переменными». Белый карлик, обладающий большой массой и плотностью, «забирает» у звезды-компаньона ее вещество, которое разогревается до высоких температур и порождает рентгеновское излучение, составляющее более «жесткую» часть фона. В другую, более «мягкую»

часть основной вклад (около 2/3) вносят коронально активные звезды в двойных системах. Под воздействием звезды-компаньона в короне (верхних слоях атмосферы) такой звезды происходят вспышки, в которых и рождается низкоэнергичное рентгеновское излучение.

На основе наблюдений обсерватории *Rossi X-Ray Timing Explorer (RXTE, NASA)*, работающей в рентгеновском диапазоне, была составлена подробная карта распределения рентгеновского фона в галактическом диске, а затем ее сравнили с изображением галактического диска, сделанном в ближнем инфракрасном диапазоне (данные спутника-телескопа *COBE, NASA*). Изображения совпали. А так как источник инфракрасного излучения — маломассивные звезды, это позволило сделать вывод, что рентгеновское излучение также рождается единичными источниками, а не диффузный газ, как считалось до этого. И значит, звезд, светящихся в рентгене, в нашей Галактике гораздо больше, чем предполагалось ранее.

Поскольку свой вклад в рентгеновский фон вносит практически каждая звезда в Галактике, то получаемая карта в рентгеновских лучах неожиданно показала все ее структурные детали — большой тонкий диск и переемычку («bar») в центральной области. (До исследований, проведенных российскими учеными, подобные результаты астрономы получали только при помощи орбитальных телескопов, работающих в инфракрасном диапазоне, *COBE* или *Spitzer*). «Рентгеновские лучи», которые имеют гораздо большую проникающую способность, чем инфракрасное излучение, позволяют увидеть фактически всю Галактику и подсчитать количество аккрецирующих белых карликов (около 1 млн.) коронально активных звезд в двойных системах (100 млн.), — отмечает Михаил Ревнивцев.

Открытие, сделанное российскими астрофизиками, повлияет на понимание истории развития Галактики, формирования звезд и темпа взрывов сверхновых.

Ольга Закутняя

## тест НА ПАНДЕМИЧНОСТЬ

Для проникновения в клетку вирус гриппа использует гемагглютинин, вирусный белок, который связывается с находящимися на клеточной поверхности сахарами, содержащими сиаловую кислоту. Ученые из Института Скриппса составили набор из 200 различных углеводов и сахаросодержащих белков, охватывающий все основные типы молекул, с которыми могут взаимодействовать гемагглютинины.

Исследователи протестировали восемь разных штаммов вируса гриппа, в том числе пандемичный штамм 1918 г. В результате тестирования обнаружилось, что аминокислотные замены молекулы гемагглютинина всего в двух позициях могут привести к трансформации «птичьего» штамма в «человеческий». Авторы статьи, опубликованной в февральском номере *Journal of Molecular Biology*, заявляют, что

полученные ими данные объясняют природу необычайной агрессивности вируса гриппа, вызвавшего пандемию 1918 г. Они полагают, что их метод позволяет проводить экспресс-тестирование различных штаммов вируса птичьего гриппа, с тем чтобы определить, сколько шагов отделяет их от трансформации в пандемичную форму как результат мутаций.

Чарлз Чой

# Венеры ЗАРАЙСКИЕ

Две женские статуэтки времен верхнего палеолита, обнаруженные Зарайской археологической экспедицией РАН (руководитель — член-корреспондент РАН Х.А. Амирханов) летом 2005 г., позволяют скорректировать представления о первобытном искусстве на Русской равнине. Фигурки со следами лощения мягким материалом, выполненные в канолах антропоморфных скульптур малых форм виллендорфско-костенковской культурной общности, помимо эстетической составляющей, возможно, имели и магический смысл. Носители виллендорфско-костенковской культуры, названной по наименованиям сел Виллендорф

(Австрия) и Костенки (Россия, Воронежская обл.), были охотниками на мамонта и пришли на территорию Русской равнины около 23 тыс. лет назад из Центральной Европы вслед за мамонтами, сменившими ареал обитания. В результате раскопок Зарайской верхнепалеолитической стоянки были обнаружены многочисленные объекты жилищно-хозяйственной деятельности: полуземлянки, очаги с причажными ямками, углубления для хранения утвари, сырья (кремня, костей и бивней мамонта) и мусорные ямы. Были найдены и предметы искусства — фигурки животных и человека, бивни и лопатки мамонта



Палеолитические Венеры с Зарайской стоянки

с гравированным орнаментом, его ребро с многофигурным изображением древних животных и многое другое.

Дмитрий Мискуров



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

(495) 982-50-65

**МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ОСНАЩЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

[www.med-expo.ru](http://www.med-expo.ru)

**13–16 июня 2006**  
Москва, КВЦ «Сокольники»

# MEDprojectexpo '06

**Международный конгресс «Современная клиника MEDclinic-2006»**

**В рамках выставки состоятся:**

Симпозиум «1000-кочная больница»  
Школа-семинар «Стандарты медицинской помощи»  
Школа-семинар «Экономика здравоохранения»  
Мастер-классы, демонстрационный показ оборудования, функционирующих моделей кабинетов, операционных, информационных систем

**Генеральный партнер:**

Некоммерческое партнерство содействия развитию здравоохранения и медицины «РУСМЕДИКАЛ ГРУПП»



**Организатор:**

Выставочный холдинг MVK

**При поддержке:**

Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации

# КРИТИЧЕСКАЯ МАССА

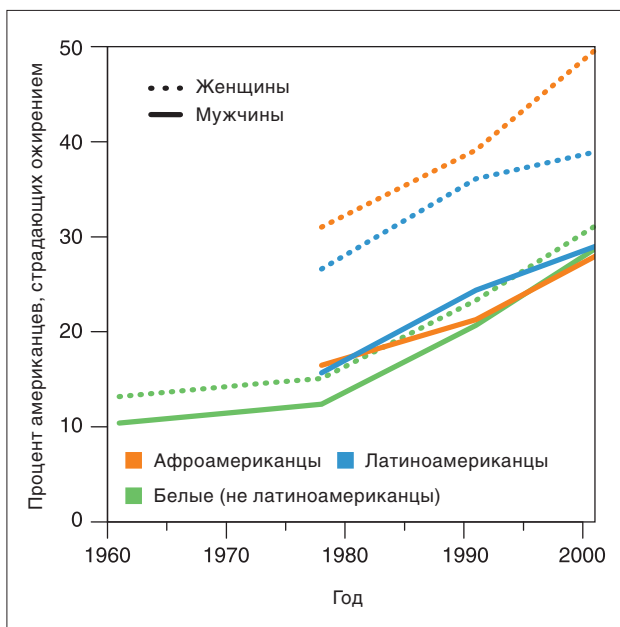
## Корни эпидемии ожирения уходят в середину двадцатого столетия

В начале 80-х гг. XX в. средний вес американцев начал стремительно расти, а в 2002 г. 31% жителей США был поставлен диагноз «ожирение». Исследователи выделяют как минимум четыре основные причины эпидемии ожирения. Развитие тучности связывают с сокращением энергозатрат, вызванным распространением автомобилей и переходом к не требующей высокой энергетической отдачи офисной деятельности. Кроме того, растущие доходы позволили людям есть больше и лучше, а развитие пищевой промышленности привело к засилью дешевых, простых в употреблении, высококалорийных продуктов питания. Немаловажным оказался и отказ от длительного кормления грудью, что снизило шансы детей в будущем не заболеть ожирением.

В результате на протяжении XX столетия американцы стабильно набирали в весе. Но проблема ожирения стала очевидной только в 1980 гг., когда все перечисленные факторы исторического развития достигли буквально критической массы. Исследования показали, что уменьшение потребления жиров ведет к снижению веса, но жир, входящий в обычный рацион, — вовсе не главная причина лишнего веса. Было выявлено, что дети, проводящие много времени у телевизора, склонны к ожирению, но однозначного доказательства причинно-следственной связи нет. Нельзя считать решающим и отказ от курения или растущую популярность питания вне дома, хотя во многих ресторанах подают порции, рассчитанные на настоящих Гаргантюа.

### ЧТО ТАКОЕ ОЖИРЕНИЕ

По определению Национального института здоровья, ожирение наступает тогда, когда индекс массы (ИМТ) тела превышает 30 единиц. Для расчета ИМТ вес тела в килограммах делят на квадрат роста в метрах. Если полученная цифра меньше 18,5, то вес считается недостаточным; если больше 25 — повышенным.



Замечено, что склонность к ожирению зависит от финансового благополучия: чем выше доходы, тем больше люди стремятся достичь модной стройности. Уровень благосостояния объясняет и то, что тучных афро- и латиноамериканцев больше, чем белых жителей США. Правда, свою лепту вносят и генетические, а также культурные факторы. Эпидемия ожирения охватила многие развитые и некоторые развивающиеся страны, но ни одна из них не достигла такого уровня, как США. Согласно теории, разработанной экономистом Томасом Филипсоном (Tomas J. Philipson) из Чикагского университета и юристом Ричардом Познером (Richard A. Posner) из апелляционного суда седьмого округа США, положить конец нарастанию избыточного веса может только повышение уровня доходов и образования.

Роджер Дойл

Возраст	Всего	Мальчики	Девочки
от 12 до 19	15,5	15,5	15,5
от 6 до 11	15,3	16	14,5
от 2 до 5	10,4	9,9	11

Процент американских детей, больных ожирением (1999–2000 гг.)

# глобальная ЭНЕРГИЯ



18 апреля 2006 г. на очередном заседании Международного комитета по присуждению премии «Глобальная энергия» были выбраны лауреаты 2006 г. 19 апреля в РИА «Новости» была проведена специальная пресс-конференция, на которой председатель Международного комитета, академик РАН Федор Митенков объявил о присуждении премии академику Евгению Велихову (Россия), доктору Масаджи Йошикаве (Япония) и доктору Роберту Аймару (Франция) за разработку научно-технических основ для создания международного термоядерного реактора (проект ИТЕР).

Необходимо отметить, что в этом году экспертная комиссия премии проделала колоссальную работу.

Было рассмотрено около 120 работ из 11 стран: Австралии, Великобритании, Исландии, Израиля, Испании, России, США, Украины, Франции, Швейцарии и Японии. Председатель экспертной комиссии академик Николай Пономарев-Степной отметил высокий научный уровень и подчеркнул особую значимость работ в решении актуальных проблем мировой энергетики.

Выступая на заседании Международного комитета по присуждению премии, исполнительный директор Игорь Лобовский отметил: «Мы гордимся тем, что премия "Глобальная энергия" за такой небольшой срок зарекомендовала себя как награда III тысячелетия. Мы живем в эпоху стремительного развития

технологий, и если мы говорим об энергии и энергетике, то в этой области невозможно переоценить значимость научных разработок».

Лауреаты принимали поздравления от помощника президента РФ Сергея Ястржембского, члена правления РАО «ЕЭС России» Леонида Гозмана и заместителя генерального директора ОАО «Сургутнефтегаз» Вячеслава Никифорова. Так была перевернута еще одна страница в истории премии «Глобальная энергия». Впереди самое главное событие года — торжественная церемония вручения премии «Глобальная энергия», которая в 2006 г. пройдет в рамках X международного экономического форума в Санкт-Петербурге.

# динозавры щипали ТРАВУ

До недавнего времени палеонтологи считали, что злаки появились на Земле спустя много времени после того, как 65 млн. лет назад с ее лица исчезли динозавры. Между тем, шведские ученые, изучавшие копролиты (окаменелый помет динозавров), обнаружили в них крошечные кристаллики кремнезема — включения, характерные для сравнительно высокоорганизованных травянистых злаков. Эти непереваренные частицы растительного материала (фитолиты) найдены в местности, богатой костями титанозавров — растительноядных ящеров с длинной шеей, обитавших на Земле незадолго до вымирания динозавров. Возраст обнаруженных пяти типов фитолитов составляет 65–67 млн. лет, а это значит, что первые злаки появились на планете

по меньшей мере 100 млн. лет назад. Исследователи предполагают, что древнейшие злаки были высокими травянистыми растениями и составляли лишь незначительную часть диеты динозавров.

Дж. Р. Минкел



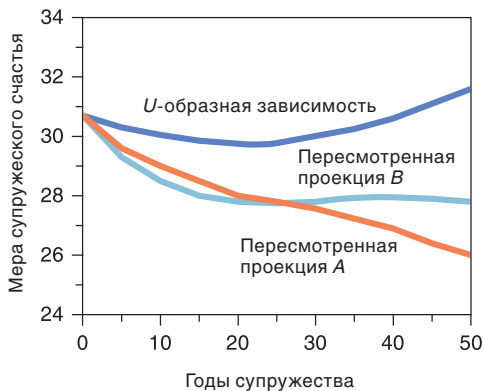
## НОВОСТИ ОДНОЙ СТРОКОЙ

■ Трансгенный горох вызывает иммунную реакцию у мышей, хотя источником чужеродного гена служит неаллергенное бобовое растение. Причина — несколько иное расположение молекул сахаров на белке, кодируемом трансгеном. Обнаруженный факт настораживает: генетически модифицированные культуры могут непредсказуемым образом повышать риск аллергических реакций и у людей.

■ Пристрастие к поваренной соли может зависеть от массы тела человека: чем меньше малыши, тем более соленую воду они предпочитают пить. Такая зависимость сохраняется и в дошкольном возрасте.

■ Освободившись от тяжести ледников последней ледниковой эпохи, северо-восточная часть Северной Америки медленно поднимается вверх и, как показывают последние исследования, перемещается к югу со скоростью примерно 1 мм в год.

# КОГДА ЗАКАНЧИВАЕТСЯ МЕДОВЫЙ МЕСЯЦ



Социологи утверждают, что самые сильные чувства супруги переживают в первые годы совместной жизни, с появлением детей эмоции ослабевают, когда же подростки покидают родительский дом, любовь вспыхивает с новой силой. Если представить такое развитие семейных отношений в виде графика, то мы получим U-образную кривую. Данные выводы базируются на результатах исследований, в которых, однако, не учитывались особенности семейных отношений и, главное, исключается фактор времени. Более надежные результаты можно получить, наблюдая группу респондентов на протяжении многих лет. Два социологических исследования, проведенные в последнее время, опровергают теорию U-образной траектории семейного счастья.

Первую группу исследователей возглавляет социолог из Небраскского университета Джоди Ван Ланинхэм (Jody Van Laningham). Семейным парам предложили ответить на 11 вопросов, в числе которых были такие: «Каково ваше отношение к любви и привязанности в семейных отношениях?», «Как вы оцениваете ваши сексуальные отношения?» и т.д. По итогам опроса ученые произвели расчет и получили зависимость, отображенную на графике кривой «Пересмотренная проекция А». Результаты исследования свидетельствуют о том, что с годами семейные пары испытывают все меньше положительных эмоций. Опросы проводились в пять этапов — в 1980, 1983, 1988, 1992, 1997 гг. В связи с тем, что в 1980 и 1983 гг. наблюдался небывало высокий уровень разводов, при проведении повторного расчета этот период решили не учитывать, а использовать только данные за 1988–1997 гг. Результат представлен кривой «Пересмотренная проекция В», которая показала немного более высокий уровень супружеского счастья, но тем не менее теория U-образной зависимости не нашла подтверждения.

Вторая группа социологов из Техасского университета в Остине под руководством Дебры Амберсон

(Debra Umberson) также на протяжении многих лет вела наблюдения и пришла к выводу, что ощущение счастья в браке с годами утрачивается. В данном случае исследователи учитывали не только число совместно прожитых лет, но и возраст супружеских пар. Оказалось, что пожилые люди получают больше положительных эмоций в семейной жизни, поскольку накал страстей в их отношениях угас, и они научились ценить друг друга. Несмотря на то, что появление детей на раннем этапе совместной жизни оказывает негативное влияние на взаимоотношения между мужем и женой, в дальнейшем, когда дети становятся самостоятельными, чувства пожилых супругов усиливаются.

В браке живут 94% американцев, которые успели до 65 лет хотя бы раз обзавестись семьей. Кроме того, бездетные семейные пары в зрелом возрасте расходятся реже, чем их ровесники, вырастившие детей.

Роджер Доил

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Marital Happiness, Marital Duration, and the U-Shaped Curve: Evidence from a Five-Wave Panel Study. Jody VanLaningham, David R. Johnson and Paul Amato in *SocialForces*, Vol. 79, No. 4, pages 1313–1341; June 2001.

■ How Does Marriage Affect Physical and Psychological Health? A Survey of the Longitudinal Evidence. Chris M. Wilson and Andrew J. Oswald. *Warwick Economic Research Papers*, University of Warwick, May 2005. [www.andrewoswald.com](http://www.andrewoswald.com)

■ As Good as it Gets? A Life Course Perspective on Marital Quality. Debra Umberson, Kristi Williams, Daniel A. Powers, Meichu D. Chen and Anna M. Campbell in *Social Forces*, Vol. 84, No. 1, pages 493–511; September 2005.

## ЯЗЫКОМ ЦИФР

По данным Федеральной службы государственной статистики, российские семьи распадаются все реже, однако количество браков с каждым годом сокращается. Согласно последним подсчетам социологов, в 2004 г. в России было зарегистрировано 635 тыс. разводов. По сравнению с предыдущими годами эта цифра внушает оптимизм: так, в 2003 г. расторгли брак 798 тыс. пар, в 2002 г. — 853 тыс. Однако меньшее количество разводов приходится и на меньшее количество браков: 979 тыс. в 2004 г. против 1 млн. 91 тыс. в 2003 г. и 1 млн. 19 тыс. — в 2002 г.

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Годы	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Число браков, значение показателя за год	1075219	866651	928411	848691	911162	897327	1001589	1019762	1091778	979667
Число разводов, значение показателя за год	665904	562373	555160	501654	532533	627703	763493	853647	798824	635835

Copyright © Федеральная служба государственной статистики, 2004

## язык и зрение

Психологи до сих пор спорят о том, влияет ли язык на образ мыслей людей. Насчет зрительного восприятия сомнений у ученых больше нет. Зрительная информация, воспринимаемая правым глазом, перерабатывается, как известно, в левом

полушарии головного мозга, которое отвечает и за речь. Исследователи из Чикагского университета решили проверить, насколько эффективно правое и левое поля зрения различают цвета, обозначаемые в английском языке словами «синий» и «зеленый». (Во многих языках мира эти цвета обозначаются одним и тем же словом.) Ученые обнаружили, что испытуемые, у которых английский язык был родным, быстрее отличали

синие квадраты от зеленых, если разноцветные фигуры появлялись в правом поле зрения. Подобного эффекта не отмечалось, если испытуемые одновременно должны были выполнять задание, требовавшее напряжения вербальной памяти (назвать число, образующееся в результате обратной перестановки цифр в предъявленном восьмизначном числе).

Чарлз Чой

## надписи с морского дна

Экспедиция Института археологии РАН в затопленной части древнегреческого города Фанагория (современный Таманский полуостров) обнаружила фрагменты архитектурных деталей, статуй, а также строительные надписи и постаменты под статуи с посвящениями. Находки датируются концом II–I вв. до н.э. и первыми веками н.э. Руководитель экспедиции, ведущий научный сотрудник Института археологии РАН, доктор исторических наук В.Д. Кузнецов полагает, что исследование затопленной части Фанагории (25 га), как и раскопки на суше, позволят уточнить династические связи боспорских царей, специфику их отношений с Римом, выявить политические и культурные особенности Фанагории.

Одна из надписей сделана по приказу легендарного царя Митридата VI Евпатора (II–I вв. до н.э.) — это постамент под пока не обнаруженную надгробную статую Гипсикратии, жены царя, названной им в надписи мужским именем Гипсикрат за доблесть, проявленную ею в сражениях с римлянами. Находки российских археологов подтвердили существование легендарной женщины, упомянутой еще Плутархом. Уникальна сохранность всей надписи: обычно находят лишь части подобных памятников. Интересно, что под водой каменные объекты обнаружены в заполнении бревенчатой конструкции, назначение которой еще предстоит определить.

Дмитрий Мисюров



Строительная надпись Бебия, сына Ахемена



Пьедестал статуи Гипсикратии

Юджин Паркер

# КАК ЗАЩИТИТЬ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ

В научно-фантастических рассказах путешественникам обычно угрожают страшные монстры, блуждающие астероиды или звездные корабли инопланетян. Но в действительности наибольшую угрозу людям в космосе несут быстрые элементарные частицы, называемые космическими лучами. В длительных полетах они облучают людей и могут вызывать у них рак. Большинство проблем, встающих перед покорителями космоса, могли бы решить инженеры





## За год, проведенный человеком в межпланетном пространстве, космические лучи способны уничтожить треть его ДНК. Как защитить космонавтов?

**В** 1912 г. австрийский физик Виктор Гесс, поднимаясь на воздушном шаре, заметил, что чем выше он взлетал, тем быстрее разряжался электроскоп. Причиной ионизации воздуха, делавшей его проводником электричества, было нечто таинственное, приходящее из космоса и названное космическими лучами.

К 1950 г. физики поняли, что космические лучи представляют собой ионы, главным образом, протоны с небольшой примесью более тяжелых ядер, бомбардирующие верхние слои атмосферы. Большая их часть приходит из-за пределов Солнечной системы, но что разгоняет их до скорости, близкой к скорости света, до сих пор остается загадкой.

Вопреки распространенному мнению, от атаки космических лучей нас защищает не магнитное поле Земли, а толстый слой атмосферы, где на каждый квадратный сантиметр поверхности приходится килограмм воздуха. Влетев в атмосферу Земли, космический протон в среднем преодолевает всего лишь 1/14 ее высоты (столб в 70 г) и на высоте 20–25 км соударяется с ядром атома воздуха. Остальная часть атмосферы поглощает осколки этого столкновения. Удар по ядру выбивает из него протон, или нейтрон, или и то и другое, и вызывает ливень гамма-лучей высокой энергии и частиц

пи-мезонов, пионов. Каждый гамма-квант проникает вглубь атмосферы и завершает свой путь рождением электрона и его античастицы — позитрона. Аннигилируя, эти частицы рожают новые гамма-кванты, но уже более низкой энергии, и так продолжается до тех пор, пока гамма-лучи не станут слишком слабыми для рождения частиц. А тем временем пионы быстро распадаются на мю-мезоны, мюоны, которые проникают до Земли.

Ежегодная доза облучения человека космическими лучами составляет около 0,03 бэр (зависит от высоты над уровнем моря), что эквивалентно облучению от двух рентгеновских снимков груди и вполне безопасно. Совершенно другое дело, когда человек оказывается за пределами атмосферы Земли, где бомбардировка космическими лучами намного сильнее, и сквозь его тело за секунду может пронестись около 5 тыс. ионов, способных разрушить химические связи в организме и вызвать такой же каскад вторичных частиц, как в атмосфере.

Несмотря на то, что тяжелых ядер в космических лучах существенно меньше, чем протонов, наносимый ими вред так же велик, а то и больше, поскольку он пропорционален квадрату электрического заряда. Например, ядро железа наносит в 676 раз больше ущерба, чем протон.

Неделя или даже месяц такого облучения не дадут серьезных последствий, но несколько лет путешествия к Марсу — это уже другая история. По оценке NASA, каждый год космические лучи уничтожали бы в теле космонавта около трети ДНК.

### Требуется защита

Уоллес Фридберг (Wallace Friedberg) и его коллеги из Института авиакосмической медицины Федерального управления гражданской авиации в Оклахома-Сити исследовали возможное воздействие космических лучей на организм человека, отправляющегося на Марс. В их отчете, опубликованном в августе 2005 г., говорится, что в ходе полета к Марсу космонавты будут получать дозу не менее 80 бэр в год. Для сравнения: предельно допустимая доза для работников атомных электростанций в США составляет 5 бэр в год. В итоге естественные биологические механизмы восстановления организма человека могут не справиться с нагрузкой, и от рака погибнет каждый десятый отправившийся в космос мужчина и каждая шестая женщина. Кроме того, тяжелые ядра могут стать причиной катаракты глаза и повреждений мозга.

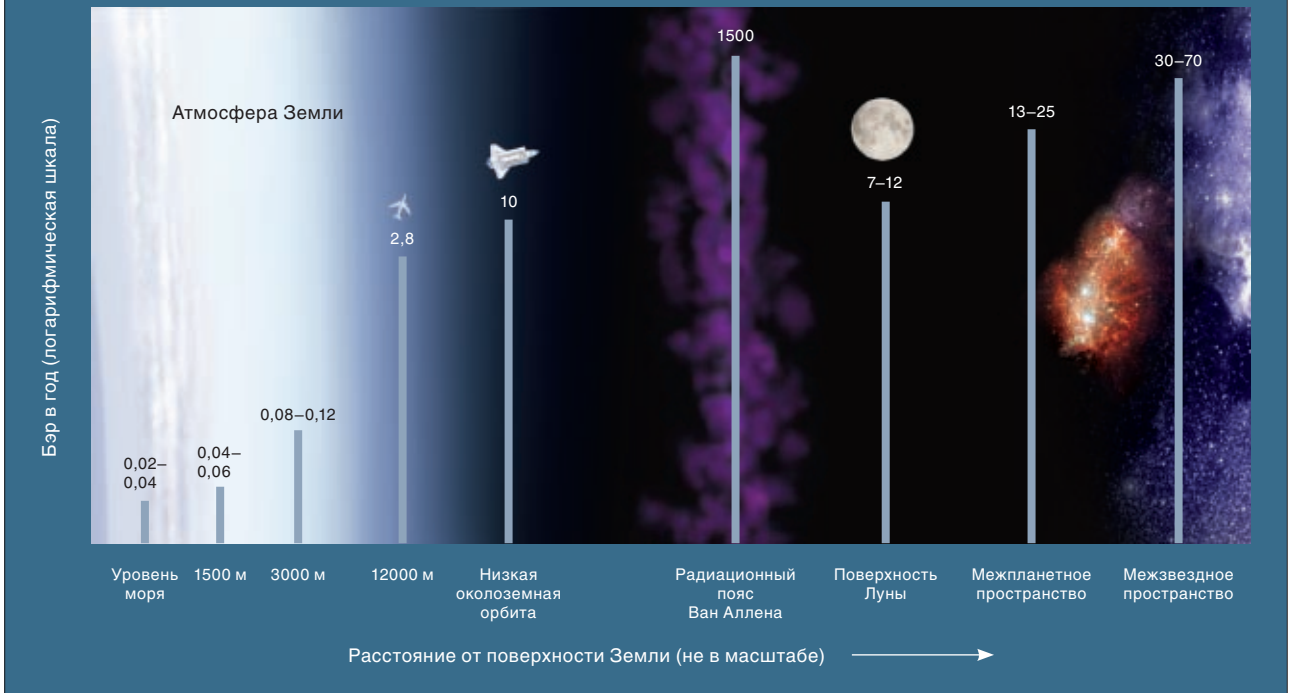
Постоянный поток космических лучей — не единственный источник радиации. На Солнце тоже могут происходить гигантские выбросы ▶

### ОБЗОР: ОПАСНОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

- Галактика пронизана быстро движущимися частицами, способными разрушать ДНК и другие молекулы. На поверхности Земли человека защищает от космической радиации масса воздуха. Космонавты на низких околоэкваториальных орбитах защищены магнитным полем Земли. Но здоровью тех, кто надолго отправится в путешествие к другим планетам, грозит серьезная опасность.
- Сферическая оболочка из воды или пластмассы могла бы защитить космических путешественников, но ее масса составит не менее 400 т — слишком много даже для мощной ракеты. Магнит из сверхпроводящих материалов мог бы отклонять космические частицы, но весил бы около 9 т.
- Специалисты по биомедицине должны определить, какую дозу долговременного облучения способен вынести человек, и могут ли лекарства стимулировать естественный процесс восстановления.

## КАКОМУ РИСКУ ПОДВЕРГАЮТ СЕБЯ КОСМОНАВТЫ?

Космические путешествия могут быть очень опасны для здоровья. На диаграмме показаны оценки годичной дозы облучения космическими лучами. Бэр (биологический эквивалент рентгена) — стандартная единица радиационного облучения. За год межпланетного путешествия космонавт получит большую дозу, чем работник атомной станции за всю жизнь. Солнечные вспышки и ван-алленовские радиационные пояса Земли смертельно опасны для человека.



протонов и более тяжелых ядер, движущихся почти со скоростью света. Иногда такие выбросы в течение часа добавляют пару сотен бэр радиации, т.е. смертельную дозу для незащищенного космонавта. Известный пример — гигантская вспышка 23 февраля 1956 г. Какие бы меры ни принимались для отражения космических лучей, они должны быть предприняты и против солнечных бурь. Но и в этом случае было бы разумно наметить путешествие к Марсу в период минимума солнечной активности.

Признавая радиационную угрозу, аэрокосмическое агентство учредило в 2003 г. Программу защиты от космической радиации в Центре управления космическими полетами Маршалла NASA в Хантсвилле, шт. Алабама. Сначала было решено обезопасить космонавтов при помощи слоя какого-либо вещества, по аналогии с атмосферой Земли. Вторая

идея — отклонять космические лучи магнитным полем, более сильным, чем магнитное поле Земли, обеспечивающее некоторую защиту экваториальным областям и Международной космической станции. Позже родилась мысль сообщить космическому кораблю положительный заряд, способный отталкивать положительно заряженные ядра. В августе 2004 г. NASA устроило двухдневную встречу в Мичиганском университете в Анн-Арборе для оценки состояния дел. Вывод оказался неутешительным: пока не ясно, как решить проблему космических лучей.

### Силовое поле

В рамках Программы защиты от космической радиации предложено несколько вариантов предохранения космонавтов от воздействия космических лучей. Как земная атмосфера спасает от радиации жителей нашей планеты, так же и слой

защитного вещества может обеспечить безопасность людям, находящимся в космическом аппарате или на орбитальной станции. Если на каждый квадратный сантиметр земной поверхности оказывает давление килограмм воздуха, то в космосе можно использовать тот же килограмм, только защитного вещества, на каждый квадратный сантиметр поверхности аппарата. Хватит и 500 г, которые эквивалентны массе воздуха выше 5500 м (при меньшей массе защитный материал не сможет поглощать вторичные частицы).

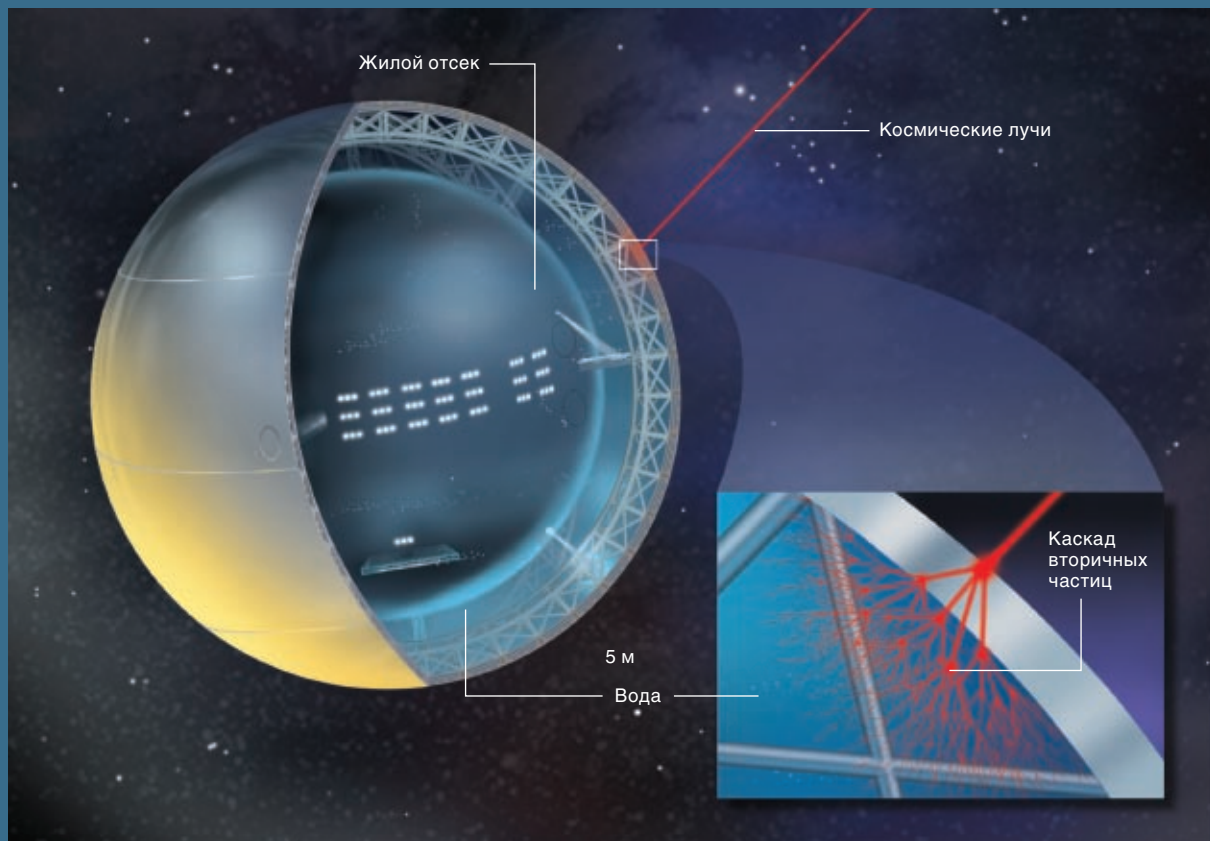
Если попробовать использовать воду, которая в любом случае необходима космонавтам, то потребуется слой толщиной 5 м. При этом масса сферического водного резервуара, окружающего маленькую капсулу, приблизится к 500 т. Для сравнения: максимальная грузоподъемность шаттла составляет

ПЛАН 1: ЗАЩИТА ВЕЩЕСТВОМ

Толстый слой вещества вокруг космонавтов поглощает падающую радиацию и вторичные частицы. Сферическая водяная оболочка толщиной 5 м создает такую же защиту, как атмосфера Земли на высоте 5 500 м.

ЗА: Простой принцип, гарантированное действие

ПРОТИВ: Слишком большая масса



около 30 т. Вода, богатая водородом, в отличие от веществ, содержащих более тяжелые элементы, где дополнительные протоны и нейтроны в их ядрах затевают друг друга, ограничивая взаимодействие с пролетающими космическими частицами, могла бы создать надежную защиту. Для увеличения содержания водорода можно было бы использовать этилен ( $C_2H_4$ ), полимеризующийся в полиэтилен, т.е. твердое вещество, для хранения которого не нужны резервуары. Но даже в этом случае необходимая масса составила бы не менее 400 т. Чистый водород был бы легче, но для него нужен массивный герметичный бак.

Была предложена и другая схема защиты человека на орбите, которую можно назвать магнитной схемой. На заряженную частицу, движущуюся поперек магнитного поля, действует сила, направлен-

Земли на низких широтах, заряженная частица, если она не слишком энергична, отбрасывается обратно в космическое пространство. Космический корабль с мощным магнитом делал бы то же самое.

Космические лучи могут стать причиной катаракты, повреждений мозга, раковых заболеваний

ная перпендикулярно направлению движения. В зависимости от конфигурации линий поля частица может отклоняться почти в любую сторону или выйти на круговую орбиту, где она будет вращаться бесконечно. Приближаясь к магнитному полю

Каждый протон космических лучей обладает огромной кинетической энергией, поэтому для защиты космонавтов нужно отразить протоны с энергией 2 ГэВ. Чтобы остановить их на расстоянии в несколько метров, потребуется магнитное

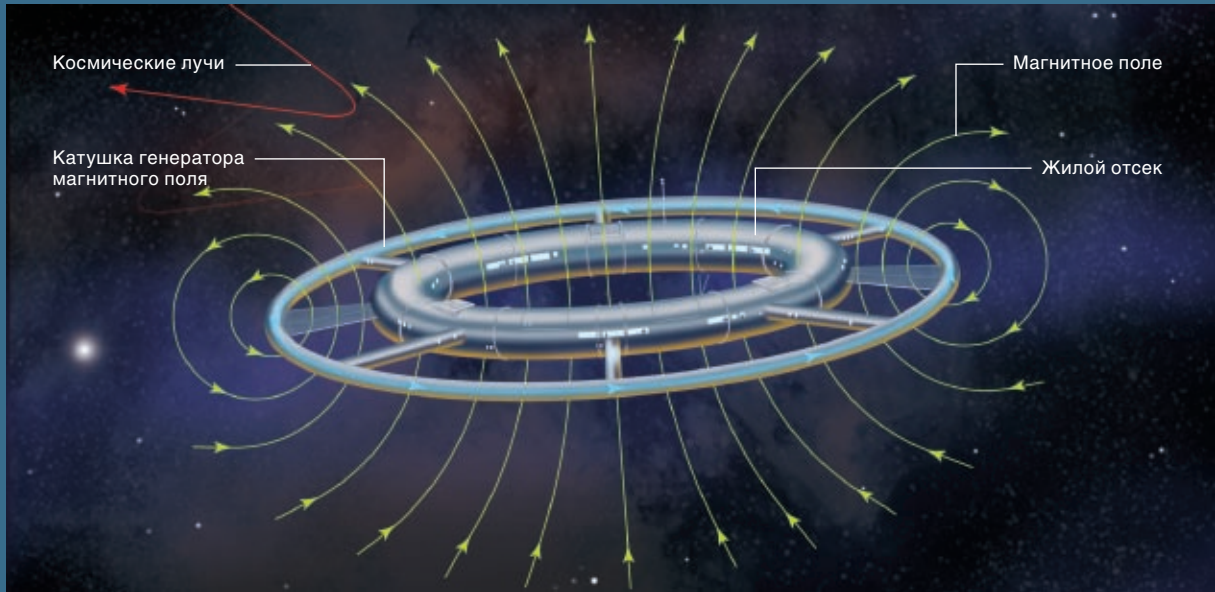
KENT SNOODGRASS

## ПЛАН 2: МАГНИТНАЯ ЗАЩИТА

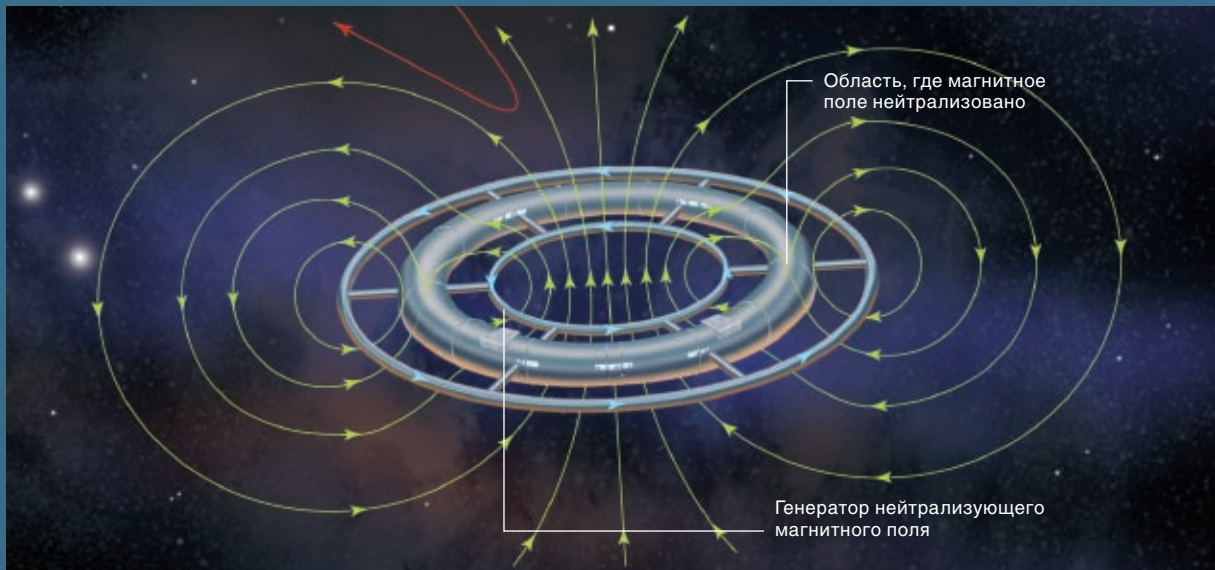
Электромагнит отталкивает падающие частицы обратно в космос. Чтобы отразить основной поток космических лучей с энергиями до 2 ГэВ, требуется магнитное поле в 600 тыс. раз сильнее земного на экваторе.

**ЗА:** Намного легче, чем защита веществом

**ПРОТИВ:** Не обеспечит защиту вдоль оси



Для подавления поля внутри жилого отсека необходимо добавить второе, внутреннее электромагнитное кольцо. Но подавление будет лишь частичным и при этом существенно усложнит систему.



поле с индукцией 20 Тл, что примерно в 600 тыс. раз сильнее магнитного поля Земли на экваторе. Для создания такого поля требуется электромагниты на основе сверхпроводимости, использующиеся в

ускорителях частиц. Сэмюэль Тинг (Samuel C.C.Ting) из Массачусетского технологического института возглавил группу, спроектировавшую такую систему массой всего 9 т, гораздо более легкую, чем защита

веществом, но все равно слишком тяжелую, чтобы везти ее с собой на Марс и обратно.

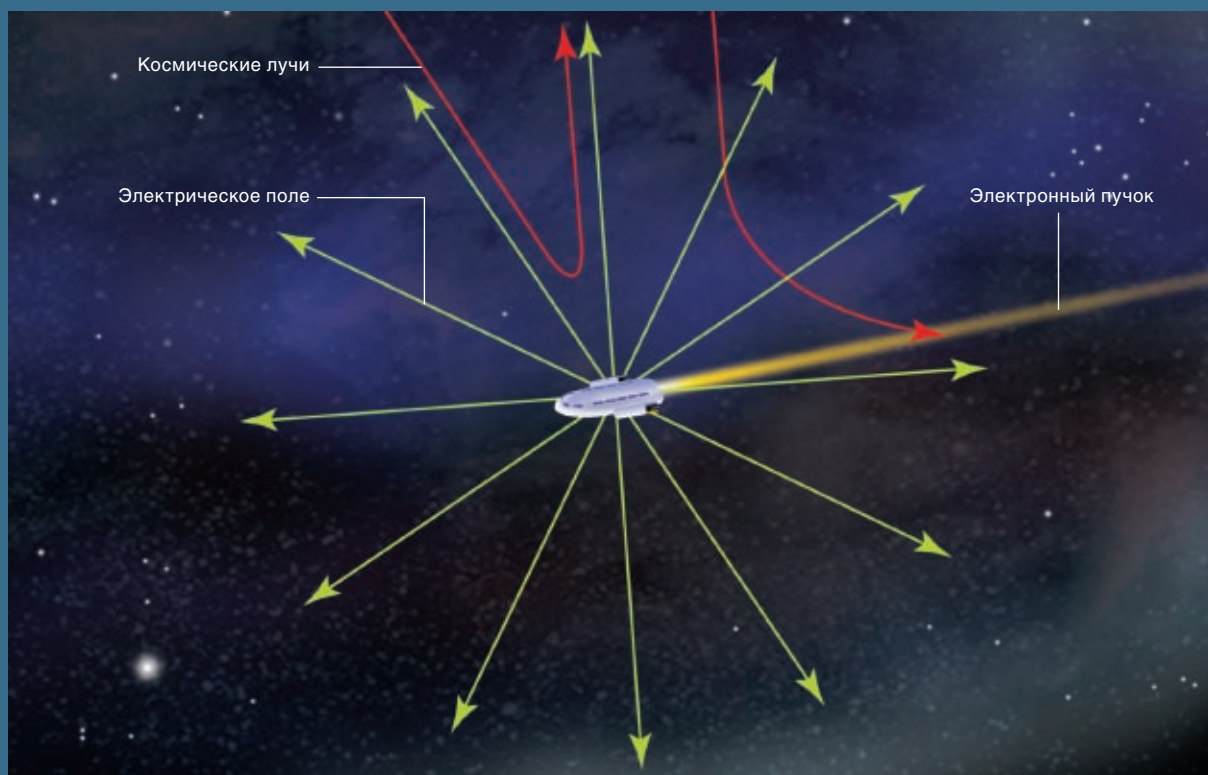
У магнитной схемы есть слабые места: магнитное поле не обеспечивает защиту вблизи полюсов, где

## ПЛАН 3: ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Выбрасывая в пространство пучок электронов, корабль приобретает положительный заряд, который отталкивает космические лучи. Чтобы отклонить частицы с энергиями до 2 ГэВ, корабль должен быть заряжен до 2 ГВ.

**ЗА:** Нет брешей в защите;  
нет опасного магнитного поля

**ПРОТИВ:** Возникает опасный приток отрицательно заряженных частиц; требуется электрическое поле гигантского напряжения



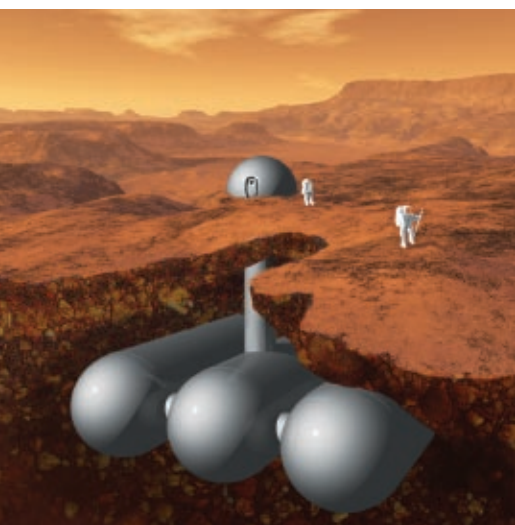
частицы движутся параллельно полю, а не поперек. Именно поэтому магнитное поле Земли дает слабую защиту тем, кто живет вдали от экватора. Чтобы космонавтам ничего не угрожало, жилой отсек космического корабля должен иметь форму бублика. Кроме того, людям придется жить в магнитном поле с индукцией 20 Тл, и никто не знает, какие это вызовет биологические последствия. Физик-экспериментатор из Чикагского университета Джон Маршалл (John Marshall) рассказал мне много лет назад, что, когда он сунул голову в поле с индукцией 0,5 Тл между полюсами магнита старого ускорителя частиц, любое движение головы вызывало вспышки в глазах, а во рту появился кис-

лый привкус, вероятно, вызванный электролизом в слюне. Учитывая, что поле может так сильно воздействовать на химические процессы, происходящие в организме человека, необходимо провести лабораторные эксперименты. Возможно, инженерам придется нейтрализовать поле в пределах жилых помещений, используя компенсирующий электромагнит. Естественно, наличие второго магнита заметно усложнит систему.

Некоторые исследователи предложили использовать поле, простирающееся намного дальше, чем на несколько метров. Поле можно расширить, используя плазму: известно, что ионизированный газ солнечного ветра переносит магнитное

## ОБ АВТОРЕ

**Юджин Паркер** (Eugene Parker) — специалист по межпланетному газу и магнитным полям. Еще в 1958 г. он предположил наличие солнечного ветра и объяснил его действие. Паркер разработал современную теорию солнечного магнитного поля, включая пересоединение силовых линий. Заслуженный профессор физики Чикагского университета и член Национальной академии наук, Паркер получил множество премий, включая Американскую национальную медаль по науке. Он почетный лектор фонда Генри Норриса Рассела в Американском астрономическом обществе и обладатель Киотской премии по фундаментальным наукам.



Разреженная атмосфера Марса слабо защищает от космических лучей. Перспектива постоянного поселения зависит от того, смогут ли биологи разработать лекарство от радиации

поле Солнца на большие расстояния. Защитники этого метода утверждают что такое «раздутое» поле не должно быть сильным: достаточно индукции около 1 Тл. К сожалению, они забывают о неустойчивости плазмы. Последние 50 лет в лабораториях тщетно пытаются удержать плазму в магнитном поле, чтобы использовать ее в энергетических установках термоядерного синтеза. Опыты доказали способность плазмы ускользать при любой попытке управлять ею. Впрочем, даже если удастся использовать плазму для расширения магнитного поля, она скорее ослабит защиту, чем усилит ее. Линии поля радиально вытянутся во все стороны, и влетающему протону придется пересекать меньше силовых линий. Защита ослабнет и станет такой же, как в полярных областях Земли.

## Фантастический заряд

Приверженцы другой идеи предлагают зарядить космический корабль электричеством. Если напряжение внешней обшивки относительно окружающего пространства составит 2 ГВ, то корабль сможет отразить все протоны космических лучей с энергиями до 2 ГэВ. Авторы

этой идеи, похоже, забыли, что вокруг корабля нет вакуума. В районе Земли солнечный ветер заполняет пространство примерно пятью ионами и пятью электронами на  $1 \text{ см}^3$ . Электроны, имеющие отрицательный заряд, будут притягиваться к положительно заряженному кораблю. Поскольку электрическое поле будет простирается до расстояния, где его потенциальная энергия становится ниже тепловой энергии электронов (до расстояния в десятки тысяч километров), космический корабль будет стягивать к себе электроны из этого огромного объема. Они станут врезаться в обшивку с энергией 2 ГэВ и вести себя так же, как космические лучи, поскольку будут обладать такой же энергией, как протоны. В этом случае естественный поток космических лучей был бы заменен значительно более интенсивным искусственным. Ударяя о космический корабль, электроны излучали бы гамма-лучи, и интенсивность такой бомбардировки была бы ошеломляющей.

Проектировщики не объяснили, как они собираются зарядить космический корабль до напряжения 2 ГВ. Ток в 1 А при напряжении в 2 ГВ требует мощности 2 ГВт, что сопоставимо с мощностью приличной электростанции. Даже приблизительные оценки показывают, что ток превысил бы 10 МА.

Согласно другим предложениям, мощные ракеты могли бы ускорить путешествие, сократив время облучения космонавтов. Но оптимальная длительность полета к Марсу составляет определенную часть орбитального периода планеты, и чтобы сократить ее, требуется намного больше топлива. Кроме того, на поверхности Марса атмосфера разрежена ( $10 \text{ г/см}^2$ ). Если база будет размещена глубоко, под сотнями тонн почвы, то можно было бы обеспечить защиту. Но для этого потребовалось бы использовать тяжелую технику.

Таким образом, все предложения по защите космонавтов от космических лучей не надежны. Естественные процессы восстановления человеческого организма на клеточном уровне могли бы помочь нейтрализовать дозу облучения, накопленную в течение длительного периода. Возможно, оценки заболеваемости раком, основанные на данных по кратковременным интенсивным вспышкам радиации, слишком завышены.

В 2003 г. NASA учредило Национальную лабораторию космической радиации при Брукхейвенской национальной лаборатории для изучения молекулярных механизмов повреждения клеток, надеясь создать лекарство для их лечения и восстановления. Лаборатория тщательно исследует разрушение ДНК радиацией и типы ран, не поддающихся лечению. Но химические препараты, повышающие сопротивляемость лабораторных крыс к радиационному облучению, сами по себе ядовиты. Радиационная опасность приглушает блеск идеи космических путешествий. И все равно люди будут стремиться к Луне и Марсу, мечтая о колонизации Вселенной. ■

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Shielding Space Explorers from Cosmic Rays. Eugene Parker in Space Weather, Vol. 3, No. 8, Article no. S08004; August 18, 2005.
- Публикации рабочей группы NASA 2004 г. по вопросам радиационной защиты: [aoss.engin.umich.edu/Radiation](http://aoss.engin.umich.edu/Radiation)
- Сайт NASA по проблеме космической радиации: [www.radiationshielding.nasa.gov](http://www.radiationshielding.nasa.gov)
- Хаякава С. Физика космических лучей. М.: Мир, 1973.
- Паркер Ю. Космические магнитные поля. М.: Мир, 1982.
- Основы космической биологии и медицины. Под ред. О.Г. Газенко и М. Кальвина. М.: Наука, 1975.



**ОЧЕВИДНОЕ  
НЕВЕРОЯТНОЕ**

**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*



**MOBILE &  
WIRELESS**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА  
**БЕСПРОВОДНЫЕ И МОБИЛЬНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ**

**21 - 23 ноября 2006**  
РОССИЯ, МОСКВА, СК ОЛИМПИЙСКИЙ

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

Организатор:  
**INCONEX**  
International Conference & Exhibition

ИНКОНЭКС  
Тел.: +7(495) 739 55 09  
Факс: +7(495) 641 22 38  
e-mail: [electronica@list.ru](mailto:electronica@list.ru)



**С3Expo-2006**  
Выставка-ярмарка  
информационных и коммуникационных  
технологий в Америке (включая SEBIT-America)  
27 - 29 июня 2006 г.  
Г. Нью-Йорк, США

Приглашаем принять участие в одной из наиболее  
впечатльных в США выставке информационных  
и коммуникационных технологий. Получить  
информацию о последних тенденциях, посетить  
экспозиции мировых лидеров, принять участие  
в дискуссиях и конференциях. Деловой совет  
организует работу российского павильона  
и конференцию по проблемам развития российско-  
американского технологического сотрудничества.

За дополнительной информацией по участию в С3Expo  
обращайтесь в Деловой Совет Среднеатлантических штатов  
Америки и России, по телефону: (215) 708-2628  
и электронному адресу: [val@ma-rbc.org](mailto:val@ma-rbc.org), или  
в представительство Делового Совета в России, по телефону:  
(495) 509-3992 и электронному адресу: [gor@ma-rbc.org](mailto:gor@ma-rbc.org)  
Посетите сайт Совета в Интернет: <http://www.ma-rbc.org>

[www.ma-rbc.org](http://www.ma-rbc.org)

MID-ATLANTIC RUSSIA BUSINESS COUNCIL

Дэвид Синклер и Ленни Гайренте

# секрет

## ГЕНОВ ДОЛГОЛЕТИЯ





Гены, помогающие организму пережить трудные времена, положительно влияют на состояние здоровья и продолжительность жизни. Разобравшись в том, как они работают, мы сможем подойти к решению проблемы сохранения активности в старости

**П**ервое представление о техническом состоянии автомобиля можно составить, узнав год его выпуска и пробег. Нещадная эксплуатация и время накладывают неизгладимый отпечаток

на любой механизм. То же самое можно сказать и о пожилых людях, но с одной существенной оговоркой: «изношенность» человеческого организма частично компенсируется его способностью к «саморемонту» с использованием внутренних резервов.

Одно время ученые рассматривали процесс старения не просто как истощение жизненных сил организма, а как один из этапов его генетически запрограммированного развития: лишь только мы достигаем зрелости, включаются «гены старения», выводящие нас на финишную прямую. Позже такая концепция была отвергнута, и теперь считается, что старение — это все-таки простое изнашивание организма, истощение его внутренних ресурсов, ранее поддерживавших все части «на ходу». Естественному отбору нет резона ставить подпорки тому, чей репродуктивный возраст остался позади.

Однако недавно мы обнаружили, что семейство генов, отвечающих за способность организма противостоять стрессу (слишком высоким температурам, недостатку пищи или воды и т.д.), обеспечивает также действие защитных механизмов и систем регенерации, невзирая на возраст. Оптимизируя функционирование организма в целях выживания, эти гены повышают его шансы на преодоление кризиса. И если они остаются активными достаточно продолжительное время, то вносят весомый вклад в поддержание организма в рабочем состоянии и увеличение продолжительности жизни. По существу, это «гены долголетия» — антиподы «генов старения».

Мы впервые занялись обозначенной проблемой 15 лет назад, предположив, что естественный отбор вполне мог использовать некий универсальный механизм для координации ответа организма на стресс. Если бы нам удалось идентифи-



цировать такой ген или гены, являющиеся главными контролерами, а, следовательно, основными регуляторами продолжительности жизни, можно было бы превратить их в мощное оружие против болезней и ухудшения состояния здоровья.

Многие из недавно открытых генов с таинственными названиями наподобие *daf-2*, *pit-1*, *amp-1*, *clk-1* и *p66Shc* влияют не только на способность лабораторных животных справляться со стрессом, но и на продолжительность их жизни. Наблюдения наводят на мысль, что, возможно, они служат частью некой фундаментальной системы, позволяющей организму противостоять любым «ударам судьбы» (табл. на стр. 26). Мы сфокусировали свое внимание на гене *SIR2*, разные варианты которого обнаружены во всех исследованных на сегодня организмах, от дрожжей до человека. Наличие большого количества копий такого гена сопровождается увеличением продолжительности жизни у столь разных живых существ, как дрожжи и дрозофила, и мы намереваемся выяснить, воздействуют ли они на более высокоорганизованных животных, например мышей.

## Молчание — золото

*SIR2* был открыт в ходе поисков ответа на вопрос, почему некоторые дрожжевые клетки живут дольше других, и может ли какой-то один ген контролировать процесс старения у простейшего организма. Мысль о том, что, разобравшись с

дрожжами-долгожителями, мы приблизимся к пониманию механизма старения человека, многим в то время представлялась абсурдной.

Возраст дрожжевой клетки измеряется числом ее делений, которое обычно не превышает 20. Затем клетка погибает. Один из нас (Ленни Гайренте) занялся скринингом дрожжевых колоний в поисках клеток, которые делятся большее число раз, для того чтобы идентифицировать гены, наделяющие организм таким замечательным свойством. В результате поисков была выявлена мутация в гене *SIR4*, который кодирует один из компонентов сложного белкового комплекса, содержащего фермент *Sir2*. Мутация в гене *SIR4* приводит к тому, что молекулы *Sir2* концентрируются вблизи той области дрожжевого генома, где содержится необычайно много повторяющихся нуклеотидных последовательностей. Эта область, отвечающая за синтез компонентов рибосом — «клеточных фабрик» по сборке белков, носит название рибосомной ДНК (рДНК). В дрожжевом геноме содержится более 100 рДНК-повторов, которые клетке трудно поддерживать в неизменном состоянии. Дело в том, что повторяющиеся последовательности часто рекомбинируют друг с другом, и этот процесс имеет губительные последствия для организма. Так, у человека он причастен к возникновению рака и болезни Гентингтона. Результаты наших исследований дрожжевых клеток наводят на мысль,

что старение материнских клеток сопряжено с нестабильностью рДНК.

Подобная нестабильность носит совершенно особый характер. Претерпев несколько делений, материнская дрожжевая клетка вычлениет из своего генома избыточные рДНК-копии в виде кольцевых элементов. Внехромосомные рДНК-кольца (*ERC*, от англ. *extrachromosomal rDNA circles*) реплицируются одновременно с хромосомой, но при клеточном делении остаются в ядре исходной клетки. Со временем их становится все больше, ресурсов клетки не хватает на репликацию геномной ДНК, и она погибает.

Однако если в клетку ввести дополнительные копии гена *SIR2*, то образование *ERC* подавляется, а продолжительность жизни дрожжевой клетки увеличивается на 30%. Еще более эффективным стало введение *SIR2*-копий в клетки другого организма — круглого червя, который прожил вполжизни больше положенного срока. Поразило нас не столько сходство реакции разных организмов, сколько тот факт, что данный феномен наблюдался у взрослого червя, чьи клетки уже не делятся, и у которого репликативный механизм старения, свойственный дрожжам, не действует. Как же в таком случае работает ген *SIR2*?

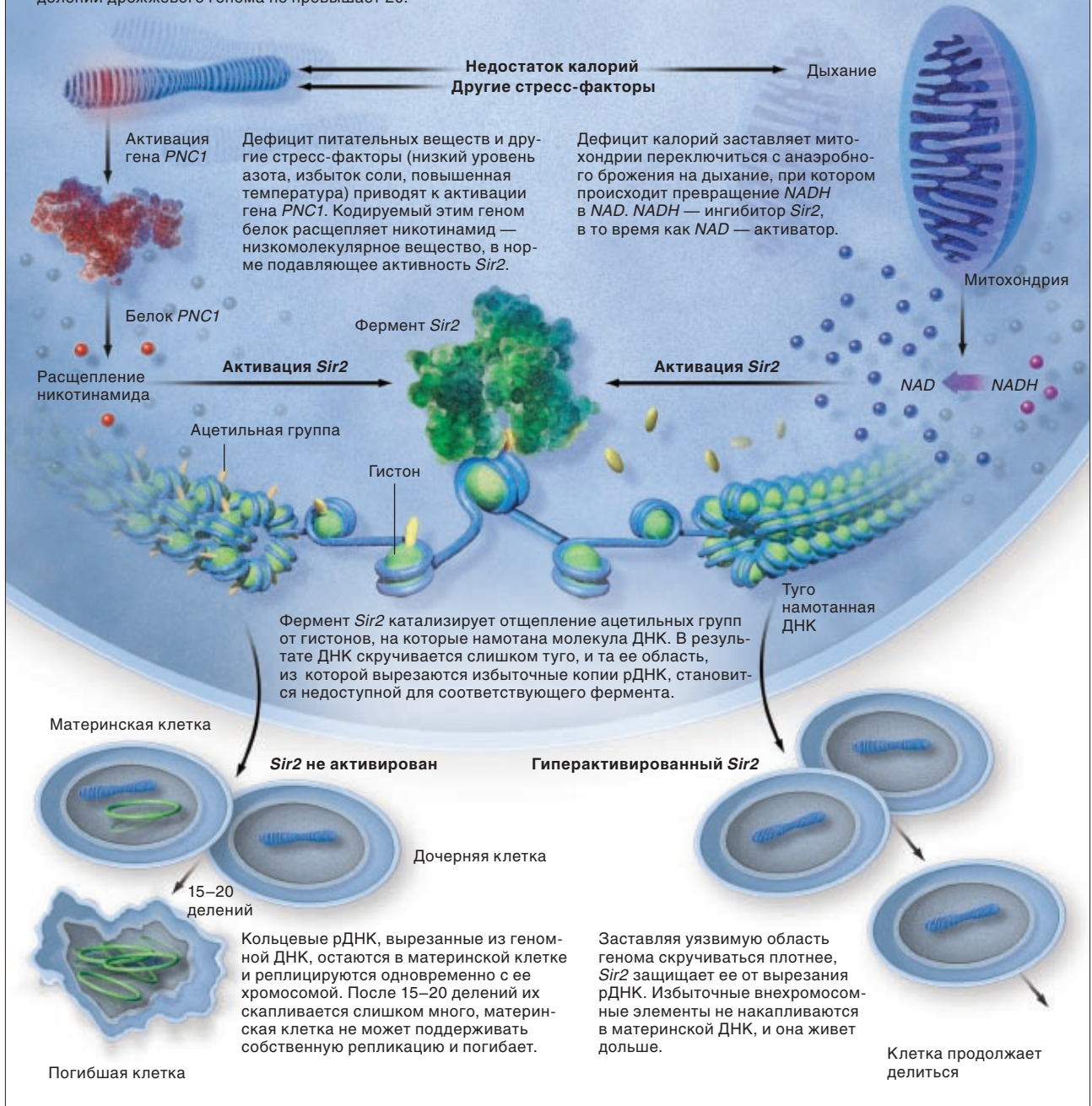
Мы обнаружили, что данный ген кодирует фермент, обладающий совершенно необычными свойствами. Известно, что молекула ДНК в клетке находится в компактной форме: она намотана на множество гистоновых «шпудлек». К гистонам присоединены химические метки, т.е. ацетильные группы, с помощью которых поддерживается нужная плотность упаковки. Если часть меток удалить, то ДНК наматывается на гистоновую сердцевину слишком туго, и ферменты, обеспечивающие вычленение из нее кольцевых рДНК, оказываются беспомощными. Участки ДНК в таком сверхплотном состоянии называются молчашими,

## ОБЗОР: УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ

- Гены, отвечающие за способность организма противостоять неблагоприятным воздействиям окружающей среды, влияют на самые разные органы и ткани, направляя все силы на борьбу за выживание.
- Длительная реакция организма на стресс может способствовать увеличению продолжительности жизни и помогать справляться с различными болезнями.
- Основным регулятором механизма выживания — гены семейства *Sirtuin*.
- Разобравшись в том, как работают эти гены, мы сможем подойти к решению проблемы сохранения трудоспособности до глубокой старости.

ФЕРМЕНТ *SIR2* И СТРЕСС

Умеренный стресс увеличивает продолжительность жизни дрожжевых клеток на 30%, повышая активность фермента *Sir2*. Стресс-факторы действуют двумя путями, но оба они приводят к одинаковому результату — подавлению ингибитора белка *Sir2*. Гиперактивированный *Sir2*, в свою очередь, устраняет одну из форм нестабильности генома, которая приводит к тому, что число делений дрожжевого генома не превышает 20.



потому что ни один из их генов не может быть активирован.

О том, что белки *Sir* участвуют в поддержании генов в молчащем состоянии, было известно и раньше. Само сокращение «*SIR*» происходит

от англ. *silent information regulator* (что можно перевести как «регулятор замалчивания информации»). *Sir2* — один из ферментов, отщепляющий от гистонов ацетильные группы, но, как мы показали, он

может работать только в присутствии никотинамидадениндинуклеотида (*NAD*), небольшой молекулы, участвующей во многих метаболических процессах в клетке. Сопряженность *Sir2* с *NAD* весьма ▶

## ГЕНЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ

Ученые идентифицировали целый спектр генов, влияющих на продолжительность жизни различных организмов. Многие из них, как и *SIR2* и его «родственники» (гены семейства *Sirtuin*), обеспечивают продление жизни благодаря увеличению числа своих копий или гиперактивации кодируемых ими продуктов. Но существуют гены, оказывающие прямо противоположное действие, и чтобы увеличить продолжительность жизни организма, их нужно инактивировать. Так, у круглого червя имеется ген *daf-2*, кодирующий рецептор для инсулина и инсулиноподобного фактора роста 1 (*IGF-1*). Инактивация этого гена у взрослой особи приводит к увеличению продолжительности жизни на 100%. То же происходит и при подавлении активности других генов, связанных с ростом и развитием организмов или влияющих на активность соответствующих молекул. Некоторые из перечисленных в таблице генов или их белковых продуктов регулируют активность генов семейства *Sirtuin* в условиях дефицита калорий либо, напротив, регулируются этими генами.

Ген или продукт гена (аналог у человека)	Организм/изменение продолжительности жизни	Процесс-мишень	Возможные побочные эффекты
<i>SIR2 (SIRT 1)</i>	Дрожжи, черви, дрозофила/ +30%	Выживаемость клеток, метаболизм, реакция на стресс	Неизвестны
<i>TOR (TOR)</i>	Дрожжи, черви, дрозофила/ от -30 до -250%	Рост клеток, реакция на изменение характера питания	Повышенная чувствительность к инфекциям, рак
<i>Daf/FoxO</i> -белки (Рецептор инсулина и <i>IGF-1</i> )	Черви, дрозофила, мыши/ -100%	Рост и развитие, метаболизм глюкозы	Карликовость, стерильность, нарушение когнитивных функций, дегенерация тканей
<i>Clock</i> -гены ( <i>CoO</i> -гены)	Черви/ -30%	Синтез кофермента <i>Q</i>	Неизвестны
<i>Amp-1 (AMPK)</i>	Черви/ +10%	Метаболизм, реакция на стресс	Неизвестны
Гормон роста (Гормон роста)	Мыши, крысы/ от -7 до -150%	Регуляция размеров тела	Карликовость
<i>P66Shc (P66Shc)</i>	Мыши/ -27%	Образование свободных радикалов	Неизвестны
Каталаза ( <i>CAT</i> )	Мыши/ +15%	Обезвреживание перекиси водорода	Неизвестны
<i>Prop 1, pit1 (Pou1F1)</i>	Мыши/ -42%	Реактивность гипофиза	Карликовость, стерильность, гипотериоз
<i>Klotho (Klotho)</i>	Мыши/ от -18 до +31%	Регуляция выработки инсулина, <i>IGF-1</i> и витамина <i>D</i>	Резистентность к инсулину
<i>Methuselah (CD97)</i>	Дрозофила/ -35%	Устойчивость к стрессу, взаимодействие между нейронами	Неизвестны

примечательна, поскольку тем самым протягивается ниточка от *Sir2* к метаболизму, следовательно, к взаимосвязи характера питания и старения, наблюдаемой в условиях недостатка калорий.

### Чем меньше калорий, тем лучше

Уменьшение количества калорий, потребляемых организмом, — самый известный способ продлить жизнь. Эта взаимосвязь была открыта более 70 лет назад и до сих пор не вызывает сомнений. Режим ограничения обычно заключается в уменьшении количества потре-

бляемой пищи на 30–40% по сравнению с тем, что считается нормой для данного вида. Все животные (от крыс и мышей до собак и приматов) на такой диете не только живут дольше, но и отличаются отменным здоровьем. Уменьшается частота многих заболеваний, включая рак, диабет и нейродегенеративные расстройства. Однако репродуктивные способности при этом ослабевают.

Долгое время считалось, что при малом количестве калорий метаболизм замедляется, и, следовательно, уменьшается количество образующихся при этом токсинов, побочных продуктов пищева-

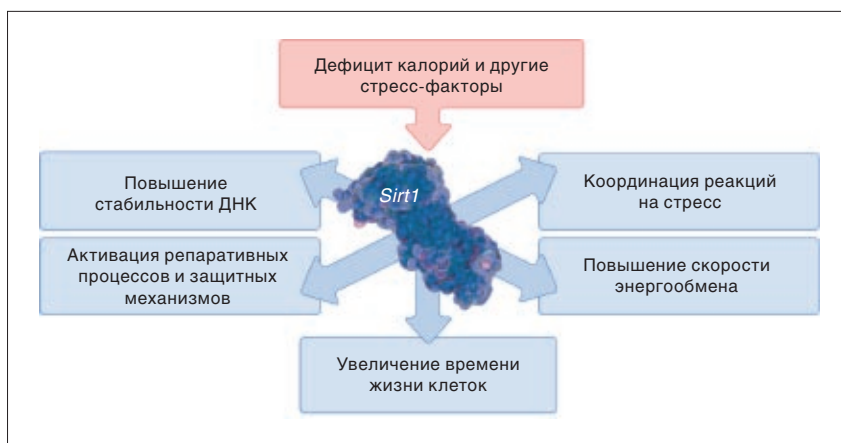
тельного процесса. Сегодня такая точка зрения признана ошибочной. Низкокалорийная диета вовсе не замедляет метаболизм ни у млекопитающих, ни у низших организмов, напротив, происходит ускорение и изменение процесса обмена веществ. Мы полагаем, что дефицит калорий служит таким же биологическим фактором стресса, что и недостаток пищи, который включает защитные системы организма, мобилизуя их на борьбу за выживание. У млекопитающих при этом меняется эффективность работы клеточных систем репарации и производства энергии, отсрочивается

апоптоз (запрограммированная гибель клеток). Намереваясь узнать, какова роль *Sir2* в указанных изменениях, мы вначале попытались выяснить, как участвует этот белок в реакции на недостаток калорий у простейших организмов.

Обнаружилось, что у дрожжей дефицит питательных веществ запускает два механизма, повышающих ферментативную активность *Sir2*. Во-первых, включается ген под названием *PNC1*, который кодирует фермент, расщепляющий никотинамид — низкомолекулярное вещество, в норме подавляющее активность *Sir2*. Во-вторых, активируется механизм получения энергии, при котором в качестве побочного продукта образуется *NAD* и одновременно уменьшается уровень его антагониста *NADH*. Последнее очень важно, поскольку, как выяснилось, происходит не только активация *Sir2* под действием *NAD*, но и его инактивация под действием *NADH*. Следовательно, при изменении соотношения *NAD/NADH* в клетке существенно трансформируется и активность *Sir2*.

С учетом всего, что мы знаем о связи между действием стресс-факторов на организм и активностью *Sir2*, можно задать естественный вопрос: служит ли наличие данного белка необходимым условием увеличения продолжительности жизни? Чтобы разобраться в этом, из организма дрозофилы был удален кодирующий его ген. Изучение последствий позволило ответить на вопрос положительно. А поскольку многие ткани насекомого имеют свои аналоги у млекопитающих, можно предположить, что и для них ответ будет таким же.

Однако речь не идет о том, что для реализации всего потенциала *Sir2* нужно садиться на жесточайшую диету. Активность рассматриваемого белка и его «родственников» (их общее название — *Sirtuin*) можно изменять с помощью модуляторов. Особенно интересен один из



Фермент *Sirt1* ответствен за состояние здоровья и увеличение продолжительности жизни в условиях дефицита калорий у млекопитающих. Недостаток пищи и другие биологические стресс-факторы повышают активность *Sirt1*, а тот, в свою очередь, влияет на внутриклеточные процессы. Стимулируя выработку различных сигнальных молекул, например, инсулина, *Sirt1* может регулировать ответ на стресс организма в целом. Действие этого фермента осуществляется через его влияние на другие белки.

*Sirtuin*-активаторов — низкомолекулярное вещество под названием резвератрол, который содержится, например, в красных винах. В экстремальных условиях он вырабатывается многими растениями. *Sirtuin*-модуляторной активностью обладают также 18 других веществ, синтезируемых растениями в ответ на стресс. Не исключено, что все они используются для регуляции активности белка *Sir2*.

Добавление резвератрола к низкокалорийной пище, его присутствие в культурной среде, где растут дрожжи, введение его в организм червей и дрозофил увеличивает продолжительность их жизни на 30%, правда, только в том случае, если у них присутствует ген *Sir2*. Более того, дрозофилы с гиперпродукцией *Sir2* живут так долго, что ни резвератрол, ни дефицит калорий никакого дополнительного эффекта не дают. Проще всего объяснить это тем, что последние влияют на продолжительность жизни через активацию белка *Sir2*.

Дрозофилы, получающие резвератрол, не только живут дольше, питаясь при этом вдоволь, но и сохраняют фертильность, которая часто утрачивается в условиях дефицита калорий. Если мы намереваемся

в будущем использовать вещества, влияющие на активность *Sir2*, в медицине, то сначала необходимо детально разобраться в том, какую роль играет этот белок в организме млекопитающих.

### Главный дирижер

Аналог дрожжевого *SIR2*-гена у млекопитающих — ген *SIRT1*. Он кодирует белок *Sirt1*, обладающий такой же ферментативной активностью, что и *Sir2*, кроме того, он катализирует деацетилирование широкого круга белков в ядре клетки и в цитоплазме. Некоторые из этих белков вовлечены в такие важные клеточные процессы, как апоптоз и метаболизм. Таким образом, роль генов семейства *SIR* как потенциальных генов долголетия распространяется и на млекопитающих. Правда, у столь сложных организмов механизм их действия гораздо сложнее.

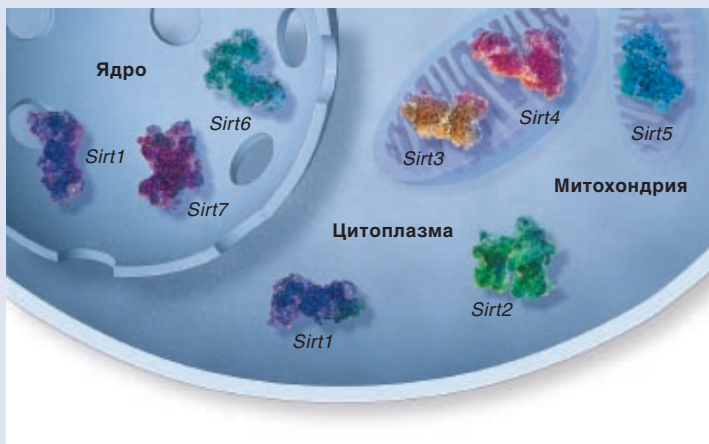
Исследователи обнаружили, что при повышении содержания белка *Sirt1* в организме мышей и крыс некоторые клетки выживают в таких условиях, при которых обычно запускается программа апоптоза. *Sirt1* действует при этом опосредованно через регуляцию активности белков *p53*, *FoxO* и *Ku70*, которые участвуют или в установлении ▶

## БЕЛКИ СЕМЕЙСТВА SIRTUIN В КЛЕТКЕ

Фермент *Sirt1* — наиболее изученный белок семейства *Sirtuin*, но кроме него в клетках млекопитающих присутствуют и другие белки данного типа. Они локализируются в разных отделах клетки. Так, белок *Sirt1*, находящийся в ядре и цитоплазме, деацетилюет другие белки, изменяя их поведение. Многие из его мишеней — факторы транскрипции, активирующие гены, или белки, регулирующие работу этих факторов. Такая схема позволяет *Sirt1* осуществлять контроль широкого спектра важных внутриклеточных процессов. Исследование роли других белков семейства *Sirtuin* и их способности влиять на продолжительность жизни организмов только начинается. Так, установлено, что *Sirt2* модифицирует белок тубулин, из которого состоят микротрубочки, и может влиять на процесс деления клетки. *Sirt3* влияет на выработку энергии в митохондриях и, по-видимому, принимает участие в регуляции температуры тела. Функции *Sirt4* и *Sirt5* пока неизвестны. Мутации в гене белка *Sirt6* приводят к преждевременному старению.

### НЕКОТОРЫЕ МИШЕНИ БЕЛКА SIRT1

**FoxO1, FoxO3 и FoxO4:** факторы транскрипции генов, влияющих на работу защитных систем клетки и метаболизм глюкозы. **Гистоны H3, H4 и H1:** участвуют в упаковке ДНК в хромосомах. **Ku70:** фактор транскрипции, способствующий репарации ДНК и делению клетки. **MyoD:** фактор транскрипции, способствующий формированию мышц и ликвидации поврежденных тканей. **NCoR:** регулирует работу многих генов, в том числе, влияющих на метаболизм жиров, воспалительные процессы и функционирование других регуляторных белков, таких как *PGC-1α*. **NF-κB:** фактор транскрипции, участвующий в регуляции воспалительной реакции, выживаемости клеток и их роста. **P300:** регуляторный белок, участвующий в ацетилировании гистонов. **P53:** фактор транскрипции, запускающий апоптоз поврежденных клеток. **PGC-1α:** регулирует процесс дыхания клеток и, по-видимому, играет ключевую роль в развитии мышц.



некоего критического уровня для перехода к апоптозу, или же в активации систем клеточной репарации.

Утрата клеток в результате апоптоза может быть одним из важных факторов старения, особенно когда речь идет о таких нерегенерируемых тканях, как сердечная мышца или мозг. Возможно, белки семейства *Sirtuin* воздействуют на процесс старения организма, отсрочивая апоптоз. Показательным примером способности белка *Sirt1* повышать жизнестойкость клеток млекопитающих служит поведение мутантных мышей линии *Wallerian*. Особенность заключается в том, что в их организме происходит дупликация только одного гена, что значительно повышает способность их нейронов противостоять стрессу. Благодаря такой мутации, животные меньше подвержены токсическому действию химиотерапевтических препаратов, у них реже возникают инфаркт и нейродегенеративные расстройства в стрессовой обстановке.

В 2004 г. Джеффри Милбрандт (Jeffrey D. Milbrandt) из Университета Вашингтона в г. Сент-Луисе доказал, что упомянутая мутация приводит к повышению активности фермента, катализирующего образование *NAD*, а это, в свою очередь, активирует белок *Sirt1*. Кроме того, он обнаружил, что резвератрол и аналогичные препараты оказывают такое же защитное действие на нейроны обычных мышей, как и дупликация гена у грызунов линии *Wallerian*. Недавно Кристиан Нери (Christian Neri) из Национального института здоровья и медицинских исследований во Франции обнаружил, что резвератрол и еще один модулятор, фисетин, предотвращают гибель нервных клеток у двух организмов — червей и мышей, которые использовались в качестве модельных систем для изучения болезни Гентингтона. В обоих случаях эффект наблюдался только при наличии активного *Sirtuin*-гена.

Механизм действия белков семейства *Sirtuin* на уровне индивидуальных клеток более или менее понятен.

Но если кодирующие их гены имеют отношение к положительному эффекту, который дает дефицит калорий, то возникает вопрос: как именно влияет диета на их активность и, следовательно, на процесс старения? По данным Пере Пиксервера (Pere Puigserver) из Медицинской школы при Университете Джонса Хопкинса, в условиях дефицита калорий в клетках печени повышается уровень *NAD*, что приводит к увеличению активности белка *Sirt1*. Среди белков, на которые действует *Sirt1*, — один из важных факторов регуляции транскрипции *PGC-1α*, оказывающий влияние на метаболизм глюкозы в клетке. Таким образом, *Sirt1* одновременно определяет наличие питательных веществ и регулирует соответствующую реакцию печени.

Подобные наблюдения позволяют предположить, что белок *Sirt1* — один из ключевых регуляторов метаболических процессов в печени, мышцах и клетках жировой ткани, поскольку он отслеживает любые изменения в характере питания,

реагируя на соотношение между *NAD* и *NADH*, и затем коренным образом изменяет профиль транскрипции генов в этих тканях. В рамках такой схемы становится понятно, каким образом *Sirt1* координирует работу генов и метаболических путей, влияющих на продолжительность жизни организма.

Однако действие *Sirt1* на уровне целого организма не обязательно должно опосредоваться каким-то одним механизмом. Например, можно предположить, что «внутренний датчик» млекопитающих оценивает доступность питательных веществ по количеству энергии, запасенной в виде жиров. Жировые клетки секретируют гормоны, которые посылают сигналы другим клеткам, причем характер сигналов зависит от количества запасенных жиров. Возможно, при уменьшении жировых запасов в условиях дефицита калорий подается сигнал «Голод!», и организм включает защитные системы. С подобной гипотезой согласуется тот факт, что генетически модифицированные мыши, остающиеся худыми независимо от количества потребляемой пищи, как правило, живут дольше обычных особей.

Мы предположили, что *Sirt1* регулирует количество запасенных жиров в ответ на изменение характера питания. Возможно, белок чувствует подобные изменения, диктует организму, какое количество жиров он должен иметь в запасе, и тем самым предопределяет уровень гормонов, секретируемых жировыми клетками, что задает темп старения организма. В таком случае становится очевидной связь между старением и таким патологическим заболеванием, обусловленным изменениями метаболизма, как диабет второго типа.

Белок *Sirt1* также влияет на воспаление, сопровождающее такие серьезные заболевания, как артриты и артрозы, астма, сердечно-сосудистые патологии, нейродегенеративные расстройства. По данным

Мартина Мэйо (Martin W. Mayo) из Вирджинского университета, *Sirt1* подавляет активность белкового комплекса *NF-κB*, который участвует в запуске воспалительной реакции. Аналогичным действием обладает и *Sirt1*-модулятор резвератрол. Исследования важны по двум причинам: во-первых, уже давно ведутся поиски веществ, подавляющих активность *NF-κB*, а во-вторых, хорошо известно, что дефицит калорий подавляет воспалительные процессы.

Если ген *SIR2* действительно влияет на систему регуляции процессов старения, активируемую при стрессе, то его можно сравнить с главным дирижером оркестра, в котором «играют» такие маститые «музыканты», как гормональная система, внутриклеточные белки-регуляторы и различные гены, связанные с механизмом увядания организма. Недавно было сделано еще одно замечательное открытие: оказалось, что *Sirt1* участвует в регуляции выработки инсулина и инсулиноподобного фактора роста 1 (*IGF-1*), а эти молекулы, в свою очередь, регулируют производство *Sirt1*. Подобная «обратная связь» объясняет, как деятельность *Sirt1* в одной ткани сказывается на клетках других тканей организма.

### От обороны к активным действиям

История борьбы человека со старением насчитывает не одну тысячу лет, и очень трудно поверить, что решить проблему может какая-то горстка генов. А между тем старение у млекопитающих можно замедлить, просто ограничив поступление калорий, и к данному процессу причастны гены семейства *Sirtuin*. Конечно, причин старения может быть очень много, а о его механизмах известно далеко не все, но на примере самых разных организмов мы однозначно показали, что старение можно замедлить, манипулируя ограниченным числом регуляторов.

*SIR2*-гены имеют давнюю эволюционную историю, поскольку они присутствуют у самых разных ныне живущих организмов — дрожжей, паразитов *Leishmania*, круглых червей, дрозофилы и человека. Из всех перечисленных видов, кроме последнего, для которого пока просто нет данных, эти гены отвечают за продолжительность жизни.

В наших лабораториях проводятся эксперименты, которые позволяют ответить на вопрос, контролируют ли гены этого семейства продолжительность жизни также и у млекопитающих. Вряд ли мы скоро узнаем, могут ли указанные гены продлить жизнь на десятилетия, так что те, кто хотел бы дожить до своего 130-летия, родились рановато. Но уже при жизни нынешних поколений будут найдены лекарственные вещества (модуляторы активности ферментов, кодируемых *Sirtuin*-генами), с помощью которых можно будет бороться с такими недугами, как болезнь Альцгеймера, диабет, нейродегенеративные расстройства и т.д. Некоторые модуляторы уже проходят клинические испытания.

Если говорить о долгосрочной перспективе, то мы надеемся, что проникновение в тайны функционирования генов долголетия поможет справиться со старческими болезнями. Нам пока трудно представить себе жизнь сообщества, в котором 90-летние люди вполне здоровы и жизнеспособны. Многим кажутся несерьезными разговоры об увеличении продолжительности жизни с помощью неких манипуляций с генами. Вспомним, однако, что в начале XX в. средняя продолжительность жизни составляла всего 45 лет, а сегодня в развитых странах она достигает 75 лет. Возможно, будущим поколениям, для которых 100 лет жизни будут далеко не пределом, наши попытки сохранить трудоспособность в старости тоже покажутся жалкими стараниями малосведущих людей, но и эти усилия приносят свои плоды. ■

Скотт Донеи

# КИСЛЫЙ ОКЕАН?

Коралловые рифы и их многочисленные обитатели находятся под угрозой уничтожения. Она таится в изменении химического состава океана, вызванном сжиганием ископаемых видов топлива. Повышение кислотности воды препятствует росту кораллов и многих других морских организмов





## Большая часть двуокиси углерода, образующейся при сжигании ископаемых видов топлива, попа- дает в океан, в результате чего происходит измене- ние кислотного баланса воды. Последствия для жиз- ни морских организ- мов могут оказаться чудовищными

**В** 1956 г. Роджер Ревелл (Roger Revelle) и Ганс Свосс (Hans Suess), геохимики Океанографического института Scripps в Калифорнии, указали на необходимость проведения замеров концентрации двуокиси углерода в воздухе и в океане для «более ясного понимания того, какое влияние на климат может оказать в ближайшие 50 лет выброс двуокиси углерода промышленными предприятиями». Другими словами, еще полвека назад они хотели выяснить, какова будет ситуация в наши дни. Сегодня кажется странным, что им приходилось доказывать важность подобных наблюдений, но в то время не было очевидным, что изрыгаемая выхлопными и дымовыми трубами двуокись углерода будет скапливаться в атмосфере. Некоторые исследователи полагали, что она будет целиком и без всякого ущерба поглощаться морем или охотно перерабатываться растениями на земле.

Ревелл и молодой специалист, приглашенный им для реализации проекта, ныне покойный Чарльз Килинг (Charles David Keeling), решили установить свое оборудование

подалее от местных источников двуокиси углерода — в противном случае результаты измерений носили бы беспорядочный характер. Один из приборов они разместили в самом удаленном уголке планеты, где не было не только промышленности, но и растительности — на Южном полюсе. Еще одним пунктом наблюдений стала недавно организованная метеостанция на вершине вулкана Мауна-Лоа на Гавайях, где мониторинг начал осуществляться в 1958 г. и продолжается по сей день. Уровень двуокиси углерода на Гавайях резко колеблется в течение вегетационного периода в Северном полушарии, причем в конце каждого следующего года концентрация газа, создающего парниковый эффект, всегда оказывается выше, чем в предыдущем. Научному сообществу не потребовалось много времени, чтобы понять, что Ревелл был прав — большая часть выбрасываемой в атмосферу двуокиси углерода там и остается. Верным оказалось и его предположение, что значительное ее количество попадает в море, грозя существенным изменением химического состава морской воды. Сегодня мало у кого вызывает сомнение, что, в отличие от некоторых других климатических процессов, закисление океана представляет собой реальную угрозу, хотя истинные масштабы бедствия только начинают вырисовываться.

### Великие поглотители

Представленные Килингом результаты полувекowego мониторинга представляют большую ценность, однако для создания общей картины их недостаточно. Дополнить ретроспективные данные можно, исследуя пузырьки воздуха, содержащегося в ядрах кристаллического льда. Анализируя природный архив, исследователи выяснили, что концентрация двуокиси углерода в атмосфере на протяжении нескольких тысяч лет была более

или менее постоянной, а затем, с началом промышленной революции 1800-х гг., начала стремительно расти. Сегодня вредоносного газа стало на 30% больше, чем несколько сотен лет назад, а к концу столетия его концентрация возрастет вдвое, а то и втрое по сравнению с прежним уровнем.

Неуклонно возрастающее количество углерода в природной среде в значительной степени обусловлено сжиганием ископаемых видов топлива: угля, нефти и природного газа. Производство цемента и выжигание тропических лесов также вносит свой вклад в злокачественный процесс, но поскольку данные факторы вторичны, для простоты изложения ими позволительно пренебречь. В отличие от компонентов живых организмов, в ископаемых видах топлива мало или вообще нет радиоактивного изотопа углерода 14 (в его ядре восемь нейтронов вместо обычных шести), зато в них отмечается уникальное соотношение двух устойчивых изотопов углерода 12 и 13. Сгорание такого топлива оставляет в атмосфере характерный изотопный след, который не вызывает сомнений в том, чем обусловлен рост концентрации двуокиси углерода.

Скорость поглощения может меняться, но сегодня около 40% образовавшейся двуокиси углерода остается в атмосфере, остальная часть в равных долях поглощается растительностью на земле и морем. На огромных просторах Мирового океана повышение уровня углерода пока не слишком заметно. Поэтому его обнаружение и определение степени поглощения требует точных измерений вплоть до 1/1000 доли. А поскольку уровень содержащегося в воде углерода существенно меняется в зависимости от места проведения анализа, составление всемирной карты распределения концентрации углерода требует и ресурсов, и определенного упорства. ▶

Именно этой проблемой и занимались океанографы в рамках двух глобальных программ в конце 1980-х и в 1990-х гг. — Объединенного всемирного изучения океанских течений *JGOFS*, (*Joint Global Ocean Flux Study*) и Исследования циркуляции Мирового океана [*WOCE (World Ocean Circulation Experiment)*].

Однако данные проекты не ставили целью определить, какая часть углерода попадает в океан в связи с естественными природными процессами, а какая — в результате деятельности человека. В 1996 г. Николас Грубер (Nicolas Gruber), сотрудник Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе разработал новый метод определения данного соотношения, который был использован для анализа результатов исследований *JGOFS* и *WOCE*. После завершения расчетов в 2004 г. выяснилось, что океан поглотил добрую половину всего попавшего в атмосферу углерода, образовавшегося с начала промышленной революции в результате сжигания ископаемых видов топлива.

Другой способ исследования состоит в проведении многократных измерений концентрации углерода в одном и том же месте океана. Необходимо соблюдать крайнюю осторожность при оценке содержа-

ния в море углерода из различных биологических источников. Чтобы выделить общую тенденцию накопления газа на фоне естественных изменений, наблюдения должны охватывать период не менее десяти лет. В прошлом году мы с Риком Ваннинкофом (Rik Wanninkhof) из Атлантической лаборатории океанографии и метеорологии снарядили в экспедицию исследовательское судно для проведения таких исследований. В течение двух месяцев исследователи, техники и студенты собирали пробы и изучали физические и химические свойства вод Южной Атлантики — от поверхностных до придонных, от Антарктиды до экватора. Работы выполнялись на том же самом участке океана, где мною еще в 1989 г. проводились замеры.

Сравнив результаты наблюдений 2005 г. с данными, полученными 16 лет назад, мы выяснили, что в водах Южной Атлантики на глубине нескольких сот метров от поверхности концентрация углерода стала выше, что подтверждает вывод о поглощении морем двуокиси углерода из атмосферы. Другие океанографы обнаружили аналогичные тенденции в Тихом и Индийском океанах. Но чем подобные изменения грозят подводному миру?

## Океанская химия

Чтобы понять последствия происходящего, необходимо вспомнить некоторые элементарные понятия химии. Двуокись углерода ( $CO_2$ ) в воде образует угольную кислоту ( $H_2CO_3$ ) — ту самую, которую применяют для газирования напитков. Как и все кислоты, в растворе она диссоциирует на ионы водорода ( $H^+$ ), ионы бикарбоната ( $HCO_3^-$ ) и ионы карбоната ( $CO_3^{2-}$ ). Небольшая часть угольной кислоты остается в растворе в недиссоциированном состоянии, то же самое относится и к незначительной части двуокиси углерода. Таким образом, конечная структура соединений и ионов углерода довольно сложна.

Одним из результатов всех перечисленных процессов становится увеличение концентрации ионов водорода, которую химики обычно оценивают в единицах *pH*. Уменьшение данного показателя на единицу соответствует десятикратному увеличению концентрации ионов водорода, что делает воду более кислой, а повышение значения *pH* на единицу соответствует десятикратному уменьшению концентрации ионов водорода — вода становится более щелочной. Нейтральная среда (чистая вода) имеет *pH* равный 7. В древности *pH* морской воды составлял от 8 до 8,3, т.е. океан в естественном состоянии имеет слабую щелочную реакцию.

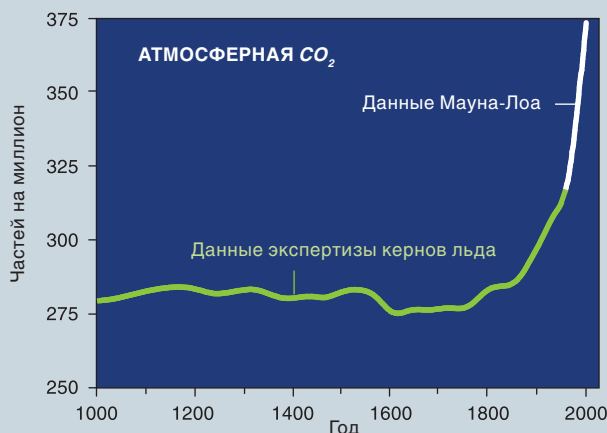
Поглощение двуокиси углерода уже понизило *pH* современных поверхностных вод приблизительно на 0,1 по сравнению с тем, что было до начала промышленной революции (т.е. океан стал менее щелочным). Если цивилизация не умерит, причем быстро и радикально, свои аппетиты в области потребления ископаемых видов топлива, то к 2100 г. *pH* океана понизится еще на 0,3. Кен Калдера (Ken Caldeira), океанограф Института Карнеги в Вашингтоне, предполагает, что через несколько столетий *pH* океана будет ниже, чем когда бы то ни было за прошедшие 300 млн. лет.

## ОБЗОР: $CO_2$ В ОКЕАНЕ

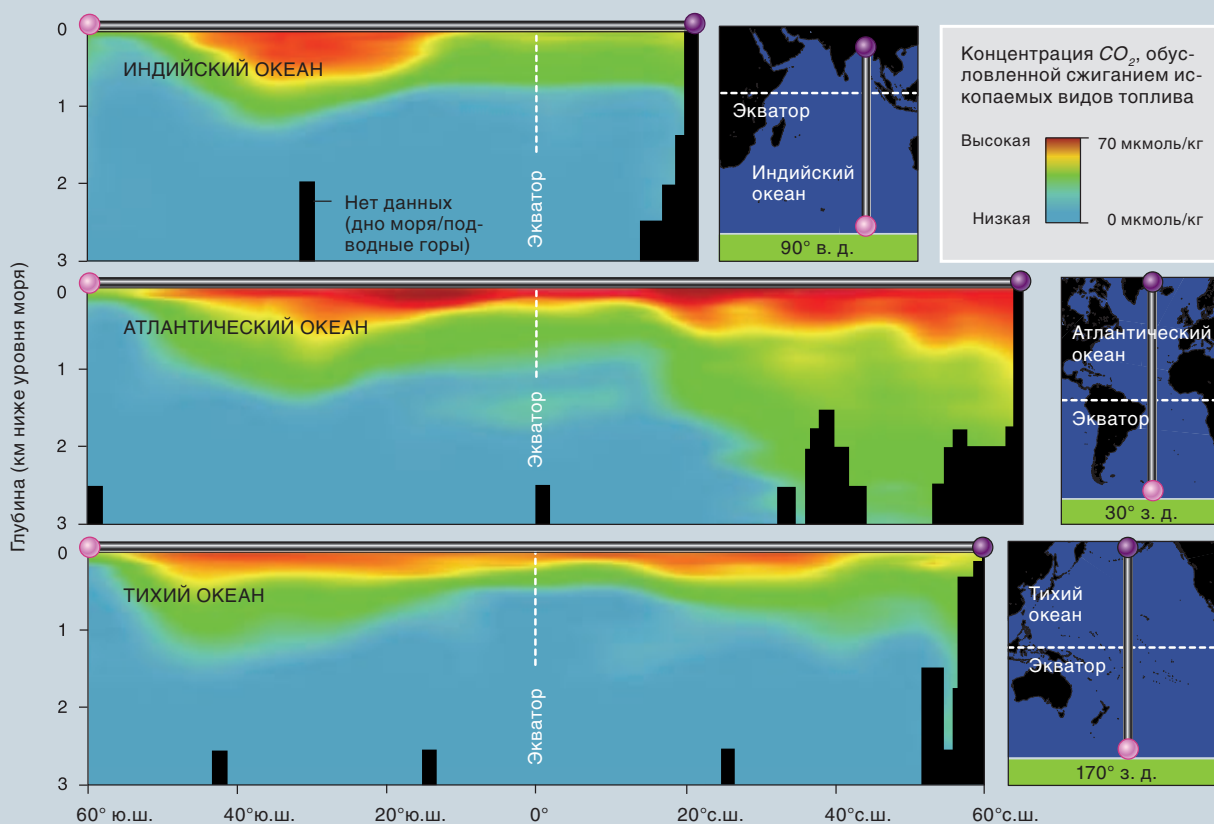
- Около трети двуокиси углерода ( $CO_2$ ), образующейся при сжигании ископаемых видов топлива попадает в океан.
- Поглощенная  $CO_2$  приводит к образованию в морской воде угольной кислоты, понижая преобладающий *pH*-уровень (слегка щелочную реакцию) и изменяет баланс бикарбонат- и карбонат-ионов.
- Закисление среды и, как следствие, изменение химического состава океанской воды затрудняет морским организмам возведение внешнего скелета из карбоната кальция. Таким образом, понижение *pH* угрожает существованию разнообразных организмов, включая кораллы, которые создают одну из самых богатых экосистем на земле.
- Уже в нынешнем столетии поверхностные воды океана Южного полушария начнут вызывать коррозию внешнего скелета крошечных улиток, играющих ключевую роль в пищевой цепи морских обитателей региона.

### CO<sub>2</sub>: ИЗ АТМОСФЕРЫ В ОКЕАН

В течение прошлого столетия концентрация двуокиси углерода значительно возросла, что подтверждается (справа) результатами последних исследований. Ученые использовали два способа: во-первых, была проведена экспертиза захваченных кристаллическим льдом пузырьков воздуха, (зеленый сегмент, где показаны средние значения за 75 лет), во-вторых, анализировались результаты непосредственных измерений атмосферы (белый сегмент, где приведены среднегодовые значения, зарегистрированные на метеостанции, расположенной на вершине вулкана Мауна-Лоа на Гавайях).



#### ОКЕАНСКАЯ CO<sub>2</sub>



Может показаться, что колебания pH незначительны, однако они дают вполне обоснованный повод для тревоги. В частности, недавно проведенные исследования показывают, что такие изменения могут оказаться губительными для некоторых видов морских обитателей, в особенности для тех, которым для строительства раковин (или других

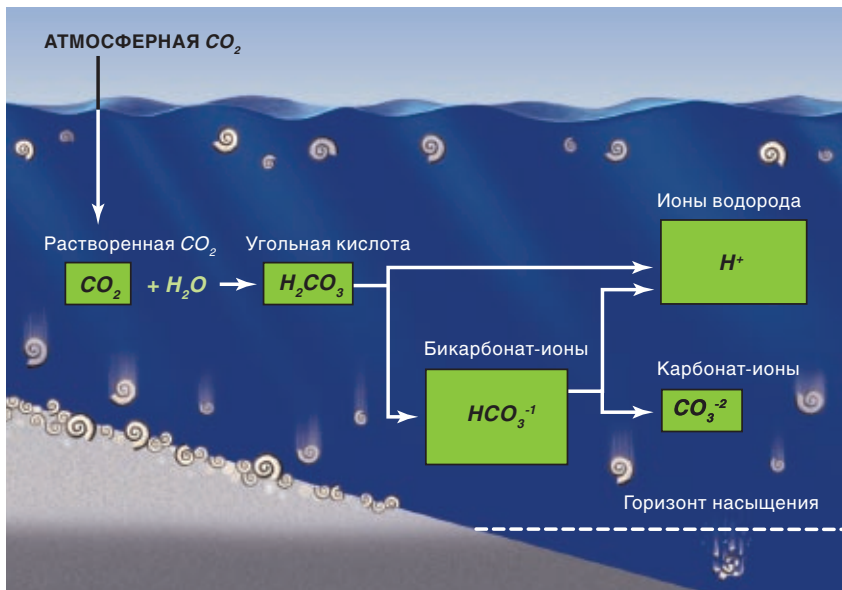
жестких элементов) необходим карбонат кальция (CaCO<sub>3</sub>) и, соответственно, ионы карбоната.

На первый взгляд данная проблема кажется парадоксальной. Ведь если часть поглощенной морем двуокиси углерода дает дополнительные ионы карбоната, можно предположить, что со временем их станет даже больше, чем преж-

де. Однако следует учитывать тот факт, что одновременно образуются ионы водорода, которые стремятся объединиться с карбонат-ионами и образовать бикарбонат-ионы. В результате концентрация карбонат-ионов падает.

Беспокойство вызывает то, что со снижением pH (и, следовательно, концентрации карбонат-иона, ▶

JEN CHRISTIANSEN; SOURCES: CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER AT OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY (http://cdiac.ornl.gov/tip/trends/co2/lawdome.combined.dat and http://cdiac.ornl.gov/tip/ndp/001/maunaloa.co2) (atmospheric CO<sub>2</sub> data); ROBERT KEV Princeton University (oceanic CO<sub>2</sub> cross section data)



Поглощенная из воздуха двуокись углерода в соединении с водой дает угольную кислоту. Отчасти она остается в океане в молекулярном виде, но в основном диссоциирует на подкисляющие ионы водорода и бикарбонат-ионы. Часть бикарбонат-ионов тоже диссоциирует на карбонат-ионы и ионы водорода. Эти химические изменения вызывают подъем «горизонтов насыщения» кальцитом и арагонитом — находящихся в глубине моря уровней, ниже которых внешний скелет морских организмов, состоящий из этих минералов, растворяется.

которая, как ожидается, уменьшится вдвое в течение нынешнего столетия) некоторым организмам станет труднее образовывать струк-

**ОБ АВТОРЕ**

**Скотт Донеи** (Scott C. Doney) — старший научный сотрудник отдела химии и геохимии моря Вудсхольского океанографического института. Он начал океанографические исследования еще будучи студентом выпускного курса Калифорнийского университета в Сан-Диего. В 1991 г., после завершения совместной программы Массачусетского технологического института и Вудсхольского океанографического института, получил звание доктора наук по химической океанографии. Донеи изучает проблемы, вызванные выбросом углерода в окружающую среду, на орбитальной обсерватории NASA. Кроме того, он руководит группой по изучению проблем концентрации углерода в океане и изменения климата, являющейся частью правительственной Программы по исследованию глобальных изменений.

туры из карбоната кальция, причем настолько, что у них возникнут проблемы роста. В частности, такой опасности подвергается фитопланктон *coccolithophoridae*, который имеет внешний костяк из маленьких пластинок карбоната кальция и обитает у поверхности океана, где много необходимого для фотосинтеза солнечного света. Другими жертвами могут оказаться планктонные организмы фораминиферы (*Foraminifera*), родственники амёбы, и крылоногие (*Pteropoda*), маленькие морские улитки. Все эти крошечные существа служат основным источником пищи для рыб и морских млекопитающих, включая некоторые разновидности китов.

Беспокойство биологов вызывает и будущее кораллов. Несмотря на внешнее сходство с растениями, они представляют собой колонии мелких живых организмов, родственных морским актиниям, и питаются планктоном. Они формируют из карбоната кальция внешние скелеты, которые со временем и превращаются в коралловые рифы — одну

из наиболее продуктивных и биологически разнообразных экосистем в океане. Коралловые морские водоросли, которые также выделяют карбонат кальция, тоже вносят свой вклад в строительство многих рифов. Например, самая большая биологическая структура в мире — Большой Барьерный риф у побережья Австралии — представляет собой скопление многих поколений кораллов и коралловых водорослей. Менее очевидные примеры скрыты в глубинах моря, где обитающие в холодной воде коралловые колонии усеивают края материков и подводные горы, создавая благоприятную среду обитания для рыб.

Своим необычайно красивым цветом кораллы мелководья отчасти обязаны симбиозным морским водорослям, живущим внутри коралловых ячеек. Реагируя на различные формы экологического стресса, они иногда покидают своих хозяев, выставляя напоказ ослепительно белый скелет из карбоната кальция. Подобное обесцвечивание может быть вызвано, например, сильным повышением температуры воды. И некоторые исследователи подозревают, что закисление (правильнее сказать — уменьшение щелочной реакции) океана может оказать такое же воздействие.

**Выживает сильнейший?**

Однако закисление может привести к еще более плачевным последствиям для кораллов и других организмов с отвердевающими структурами — к распадению их ячеек. Чтобы наглядно продемонстрировать данный эффект, достаточно опустить кусочек мела (карбоната кальция) в стакан уксуса (слабой кислоты) и мел сразу же начнет растворяться. Чтобы получить более полное представление о той опасности, которой подвергаются океанские жители, потребуется еще один экскурс в основы химии.

Карбонат кальция во внешнем скелете кораллов и других морских

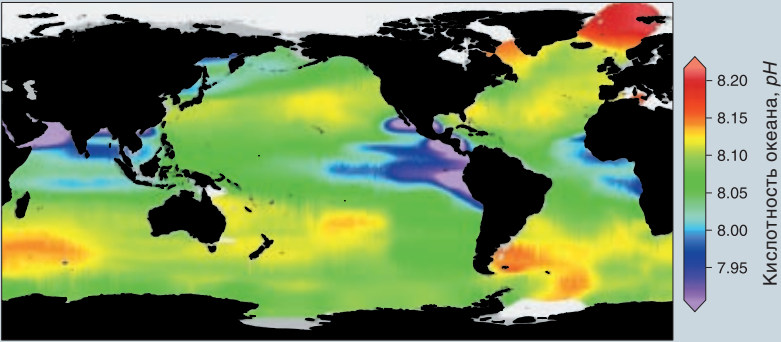
существ находится в двух минеральных формах — кальцита и арагонита. Некоторые выделяющие кальцит организмы добавляют в эту смесь еще и магний. Растворимость арагонита и магнийсодержащего кальцита выше, чем у обычного кальцита. Таким образом, кораллы и *Pteropodaе*, вырабатывающие арагонитные структуры, и коралловые морские водоросли, производящие магнийсодержащий кальцит, особенно восприимчивы к закислению океана.

Растворимость карбоната кальция в значительной степени зависит от концентрации карбоната иона (а значит, косвенно и от *pH*), но она тесно связана и с некоторыми другими параметрами, включая температуру и давление. Сегодня кислотность глубинных холодных вод достаточно велика, чтобы растворять структуры из карбоната кальция. Исследователи называют такие воды недонасыщенными. Мелководье же и теплые поверхностные воды перенасыщены кальцитом и арагонитом, т.е. минералы не склонны к растворению. Переход между этими двумя состояниями называют «горизонтом насыщения» — уровнем, ниже которого минералы начинают растворяться.

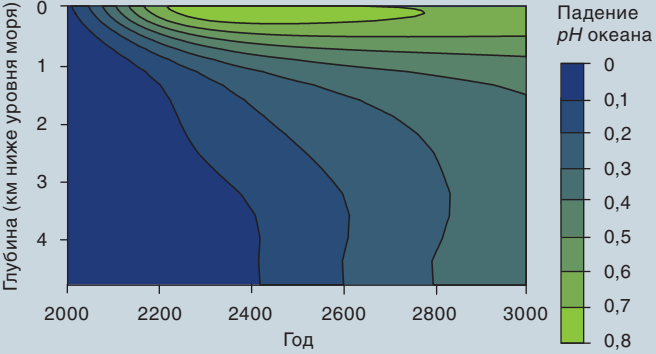
Попадание двуокси углерода из атмосферы вызвало подъем горизонтов насыщения кальцитом и арагонитом на 50–200 м ближе к поверхности по сравнению с 1800-ми гг. Недавние исследования показывают, что широкомасштабное обмеление слоев будет продолжаться. Таким образом, океан становится все кислее, поверхностные воды, благоприятные для развития различных организмов, обладающих внешним скелетом, становятся тоньше, т.е. у живых существ остается все меньше и меньше жизненного пространства. Ранее многие океанографы считали, что закисление океана представляет собой всего лишь второстепенную проблему, поскольку поверхностные

### ИЗМЕНЧИВАЯ КИСЛОТНОСТЬ ОКЕАНА

Замеры, сделанные в 50-метровом верхнем слое океана показывают, что *pH* значительно меняется в зависимости от места. Ученые предполагают, что в предстоящие годы данный показатель понизится.



Области относительно низких значений *pH* возникают за счет естественного подъема воды из глубины в верхние слои океана. Такие зоны, расположенные, в частности, в восточной части экваториальных вод Тихого океана, могли бы стать хорошим объектом исследований для специалистов, изучающих явления, которые могут со временем охватить обширные пространства.



Падение *pH* океана

Глубина (км ниже уровня моря)

Год

Хотя закисление моря пока незначительно, исследователи опасаются, что в будущем данный процесс будет усугубляться. Изменения химического состава сначала захватят поверхность, а затем и всю толщу океана.

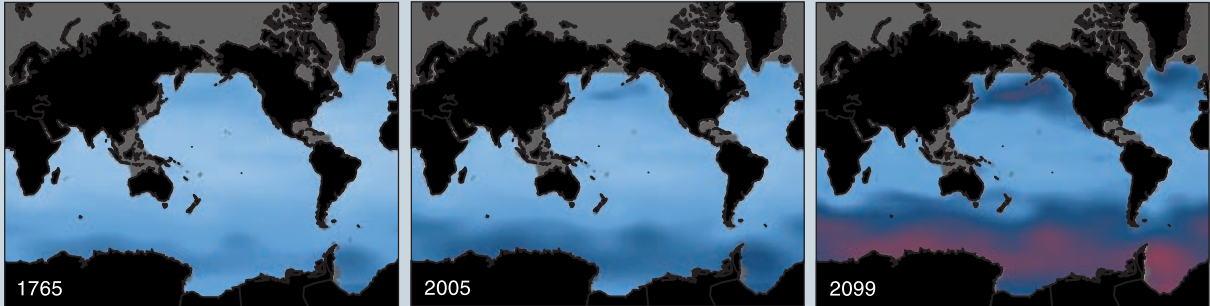
воды остаются перенасыщенными, по крайней мере, кальцитом, самой распространенной формой карбоната кальция. В конце 1990-х гг. специалист в области морской биологии Кристофер Лэнгдон (Christopher Langdon) из Университета Майами провел изящный эксперимент для проверки данного предположения. Он менял химический состав воды в емкости с искусственным коралловым рифом, который был помещен в огромный резервуар лаборатории биосферы-2 Колумбийского университета (лаборатория, как ни странно, расположена в самом центре Аризонской пустыни). Ученый обнаружил, что с понижением *pH* ско-

рость образования карбоната кальция в кораллах тоже упала, хотя вода оставалась перенасыщенной арагонитом. Немного позднее Ульф Рибисел (Ulf Riebesell) из Института исследования моря и околополярных областей Альфреда Вегенера в Германии продемонстрировал подобное замедление роста планктона *coccolithophoridae*. Уже проведены лабораторные исследования, подтверждающие неблагоприятное влияние повышенной концентрации двуокси углерода (и, соответственно, понижения *pH*) на все основные группы морских организмов, имеющих внешний скелет из карбоната кальция. ▶

CHRIS SABINE NOAA Pacific Marine Environment Laboratory (easpxy); JEN CHRISTIANSEN; SOURCE: "ANTHROPOGENIC CARBON AND OCEAN pH," BY K. CALDEIRA AND M.E. WICKETT IN NATURE, VOL. 425, SEPTEMBER 25, 2003

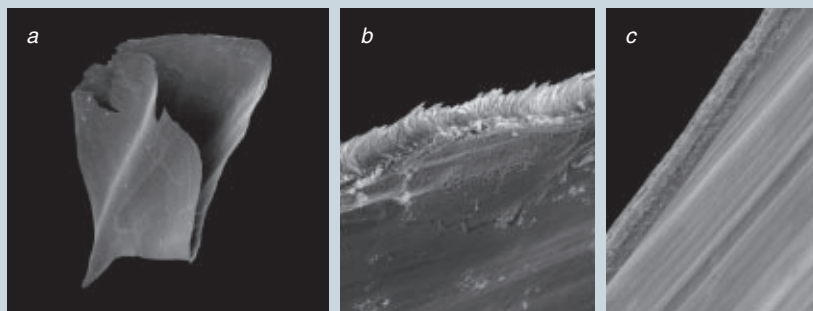
## ГОРЬКОЕ БУДУЩЕЕ АРАГОНИТА

Понижение уровня pH ослабит способность некоторых морских организмов возводить внешний скелет. Раньше всех это почувствуют виды, строящие свою костную структуру из арагонита (самой легкорастворимой формы карбоната кальция).



До начала промышленной революции (слева) большая часть поверхностных вод была сильно перенасыщена арагонитом (голубое окрашивание), поэтому морские организмы охотно использовали этот минерал. В настоящее время (в центре) в поверхностных водах полярных областей перенасыщение незначительно (синее окрашивание). Ожидается, что в конце нынешнего столетия (справа) холодные воды, особенно вокруг Антарктиды, станут ненасыщенными (фиолетовое окрашивание), живым существам станет трудно создавать скелет из арагонита, а уже сформированный костяк будет растворяться.

В пищевой цепи океана южного полушария ключевую роль играют *Pteropodaе*. Как видно на рисунках справа, для многих живых существ данного региона грядущие изменения могут оказаться губительными. На внешнем скелете крылоногих, выдержанных в течение 48 часов в воде, недонасыщенной арагонитом, видны следы начала коррозии (а), при сильном увеличении эти следы еще более заметны (b). Внешний скелет обычной улитки растворению не подвергается (с).



Холодные воды менее перенасыщены различными формами карбоната кальция, чем теплые, поэтому от закисления океана в первую очередь будут страдать высокоширотные и глубоководные экосистемы. Поверхностные воды околополярных областей станут ненасыщенными арагонитом еще до конца нынешнего столетия. Результаты исследований Виктории Фабри (Victoria J. Fabry) из Калифорнийского университета в Сан-Маркосе, позволяют сделать неприятный вывод о том, что в околополярных областях вид *Pteropodaе* может в скором времени полностью исчезнуть. Возможно, они будут вынуждены мигрировать в более теплые края, если сумеют приспособиться к новой окружающей среде. Никто не знает, каким образом резкое сокращение численности

*Pteropodaе* затронет другие экосистемы моря. Но тот факт, что эти маленькие улитки играют ключевую роль в пищевой цепи океана Южного полушария (где обитают огромные популяции рыб, китов и морских птиц), — немалый повод для беспокойства.

Распространенный в высоких широтах фито- и зоопланктон может разделить подобную участь, хотя сокращение численности этих видов произойдет на несколько десятилетий позднее, поскольку их внешний скелет состоит из кальцита, менее растворимой формы карбоната кальция. Глубинные коралловые сообщества, вероятно, тоже пострадают, особенно те, что находятся в западной части северной Атлантики, в водах которой высока концентрация углерода. Судьба коралловых рифов может оказаться

еще печальнее. Эти благородные экосистемы страдают не только от закисления океана, но и от других экологических стрессов, таких как парниковый эффект, местное загрязнение, хищническое рыболовство и изменение среды обитания. Многие коралловые рифы уже разрушаются, и закисление воды может привести некоторые виды на грань полного исчезновения.

### Каким станет море?

Столь неблагоприятные для многих морских организмов обстоятельства могут оказаться выгодными для других. Сейчас лишь малая часть углерода, содержащегося в морской воде, находится в виде растворенной двуокиси углерода, и ее нехватка ограничивает рост некоторых видов фитопланктона. Они тратят свою драгоценную энергию

на накопление двуокиси углерода внутри своего организма, и можно предположить, что увеличение концентрации растворенной двуокиси углерода пойдет им на пользу. К сожалению, у специалистов недостаточно сведений о подобном изменении окружающей среды, поэтому они пока не могут предсказать будущее фитопланктона или понять, принесет ли более высокая концентрация двуокиси углерода пользу осуществляющим фотосинтез морским водорослям, живущим внутри кораллов. Многие виды морского фитопланктона используют для фотосинтеза ион  $\text{HCO}_3^{-1}$ , однако его концентрация остается в целом неизменной, а потому биологи считают, что существенного увеличения популяции этих организмов не ожидается. Некоторые высшие растения (например, морские травы) непосредственно используют растворенную двуокись углерода, и повышение ее концентрации будет им выгодно, так же, как повышение содержания этого газа в атмосфере будет благоприятно для растений на земле.

Как же выявить реакцию океанских экосистем на закисление? Исследователи предполагают провести краткосрочные лабораторные опыты на каком-то одном виде. Кроме того, сегодня они уже изучают последствия попадания атмосферной двуокиси углерода в глубинные воды, причем одна из рассматриваемых моделей предполагает полную изоляцию вредного соединения и невозможность его попадания в воздух. Однако эта работа, несмотря на безусловный интерес, не позволяет получить представление о последствиях долгосрочного, медленного и непрерывного понижения  $\text{pH}$ . Кроме того, неправомерно было бы экстраполировать результаты лабораторных исследований на целые экосистемы, где взаимодействует множество разных организмов. Для более достоверной оценки масштабов

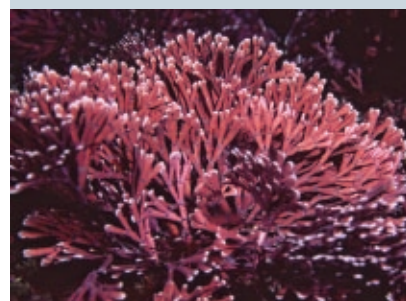
К числу морских организмов, которым закисление океана грозит опасностью, относятся кораллы и коралловые морские водоросли, обычно растущие в зоне рифа, и также *Foraminifera* и *Coccolithophoridae*, в изобилии населяющие поверхностные воды. Под угрозой находятся также разнообразные маленькие морские улитки *Pteropoda*.

проблемы можно было бы поставить такой опыт: искусственно повысить концентрацию двуокиси углерода на каком-то небольшом участке океана или на коралловом рифе в течение некоторого периода (от нескольких месяцев до нескольких лет). Исследования, предусматривающие широкомасштабный анализ влияния концентрации двуокиси углерода, обычно проводятся на земле, а океанологи только сейчас начинают использовать достижения логистики, позволяющие применить данный метод к океанским глубинам. Возможен и другой подход к проблеме — проследить, как различные морские организмы справляются с длительным понижением  $\text{pH}$  в регионах наподобие Галапагосских островов, омываемых водами с очень высоким естественным уровнем двуокиси углерода.

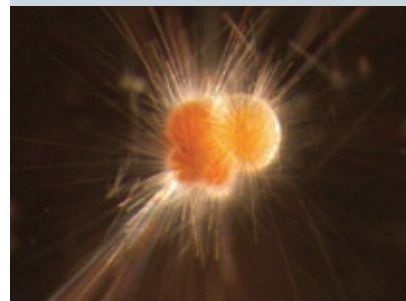
Есть еще и третий вариант исследований, включающий анализ процессов на протяжении геологических эпох, когда концентрация двуокиси углерода была гораздо выше нынешнего уровня, а  $\text{pH}$  океана намного ниже. Таким был, например, период аномально теплого климата 55 млн. лет назад (тепловой максимум эпохи палеоцена-эоцена), когда вымерло множество морских организмов. Беспокойство ученых вызывает то, что нынешнее закисление происходит быстрее, чем когда бы то ни было в прошлом, и у обитателей океана не остается времени, чтобы приспособиться. Хотя результаты воздействия, быть может, и не очевидны, драматические изменения в морской стихии, по-видимому, неизбежны. ■



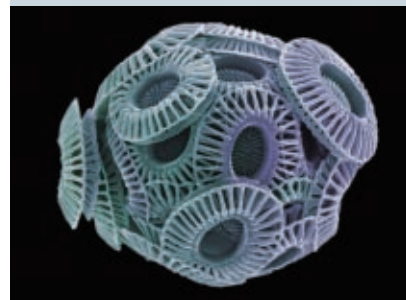
Коралл (*Millepora tenella*)



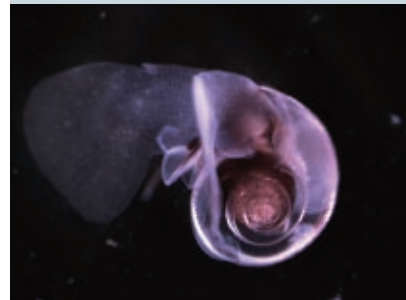
Коралловая водоросль (*Amphiroa anceps*)



Foraminifera (*Globigerina bulloides*)



Coccolithophoridae (*Emiliana huxleyi*)



Pteropoda (*Limacina helicina*)

ALEXIS ROSENFELD Photo Researchers, Inc. (fire coral); KEOKI STENDER Fishpics Hawaii (coralline algae); WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION (foraminifer); STEVE GSCHEISSNER Photo Researchers, Inc. (coccolithophorid); RUSS HOPCROFT University of Alaska-Fairbanks/NOAA (pteropod).

Грегори Чейтин

# пределы ДОКАЗУЕМОСТИ

Из идей сложности и случайности, впервые высказанных Готфридом Лейбницем в его «Рассуждении о метафизике» (1686 г.), и их подтверждения в современной теории информации следует, что невозможно создать «самую общую теорию всего» в математике







Существование специфического строго определенного числа  $\Omega$ , которое невозможно вычислить с помощью конечной компьютерной программы, разбивает надежду на создание всеобъемлющей математической системы, в рамках которой можно строго доказать любое истинное утверждение



**В** 1956 г. журнал *Scientific American* опубликовал статью Эрнста Нагеля (Ernest Nagel) и Джеймса Ньюмана (James R. Newman) «Доказательство Геделя». Через два года ее авторы выпустили одноименную книгу, которая переиздается до сих пор. В те дни я был еще ребенком, но до сих пор помню трепет, который испытал, открыв ее в Нью-Йоркской публичной библиотеке.

Меня поразило то, как Курт Гедель (Kurt Gödel) использовал математику, чтобы показать, что ее собственные возможности ограничены. Он опроверг высказанное около столетия назад Давидом Гильбертом утверждение о существовании полной теории математики, т.е. конечной совокупности принципов, из которых с помощью последовательного использования правил математической логики можно вывести все положения математики. Гедель показал, что существуют истинные математические утверждения, которые не могут быть доказаны таким образом. Его выводы основаны на двух самоотносимых парадоксах: «данное утверждение ложно» и «данное утверждение недоказуемо». (Более подробные сведения о теореме неполноты Геделя можно найти по адресу: [www.sciam.com/ontheweb](http://www.sciam.com/ontheweb).)

Всю жизнь я разбирался с доказательством Геделя и теперь, полвека спустя, издал собственную книжку. В какой-то степени это моя версия книги Нагеля и Ньюмана, однако доказательство Геделя — не главная

ее тема. Моя работа основана на измерении информации и доказательстве того, что некоторые математические факты не удастся втиснуть в теорию, потому что они слишком сложны. Согласно моему подходу, Гедель открыл только верхушку айсберга: существует бесконечное множество верных математических теорем, которые невозможно доказать, исходя из конечной системы аксиом.

### Сложность и законы науки

В 1686 г. было издано философское эссе Готфрида Лейбница (Gottfried W. Leibniz) «Рассуждения о метафизике» (*Discours de métaphysique*), в котором поставлен вопрос: как отличить факты, которые можно описать неким законом, от фактов, никаким законам не подчиняющихся? В четвертом разделе своего эссе Лейбниц высказал очень простую и глубокую мысль: теория должна быть проще данных, которые она объясняет, иначе она не объясняет ничего. Концепция научного закона становится бессмысленной, если допускает неограниченный уровень математической сложности, потому что в таком случае всегда можно сформулировать закон независимо от того, насколько случайны и беспорядочны факты. И наоборот, если единственный закон, объясняющий какие-то данные, оказывается слишком сложным, то рассматриваемые данные на самом деле не подчиняются никакому закону.

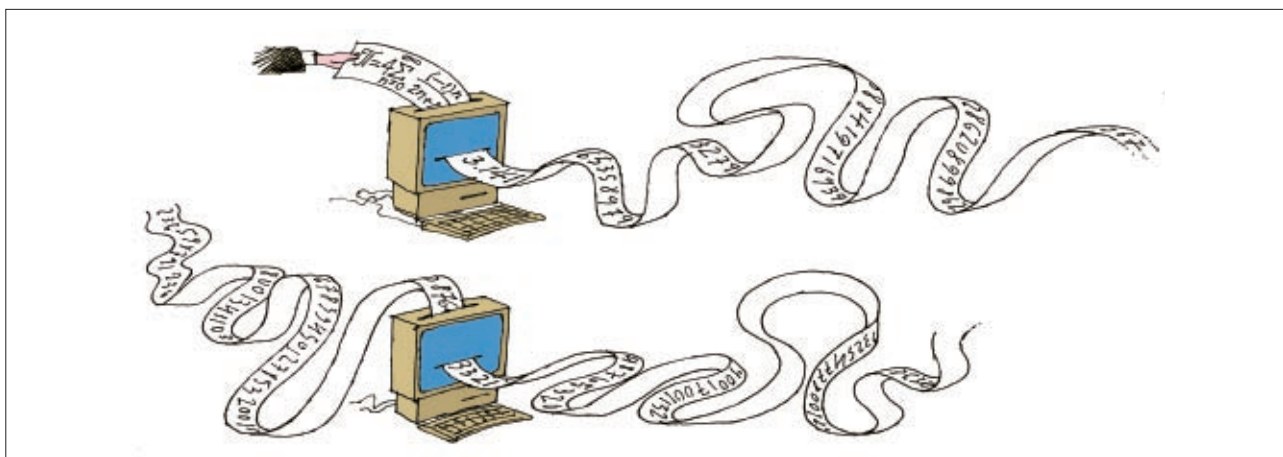
Современная математическая теория алгоритмической информации позволила дать точные количественные определения понятиям сложности и простоты. Обычная теория информации определяет объем информации числом битов, необходимых для ее кодирования. Например, для кодирования простого ответа «да/нет» нужен один бит. В отличие от этого, объем алгоритмической информации определяется длиной компьютерной программы, необходимой для генерации данных. Минимальное число битов, необходимых для хранения программы, называется количеством алгоритмической информации данных. Например, бесконечный ряд натуральных чисел 1, 2, 3, ... содержит очень мало алгоритмической информации: все числа ряда можно получить с помощью коротенькой компьютерной программы. Не имеет значения, сколько времени понадобится для выполнения вычислений и какой объем памяти придется использовать, важна лишь длина программы в битах. (Разумеется, точное значение количества алгоритмической информации зависит от выбранного языка программирования, однако для рассматриваемых в данной статье вопросов это несущественно.)

В качестве другого примера возьмем число  $\pi$ , равное 3,14159... Количество алгоритмической информации в нем тоже невелико: для последовательного вычисления всех его знаков нужен довольно короткий алгоритм. А вот случайное число, содержащее всего миллион знаков, скажем, 1,341285...64, характеризуется гораздо большим количеством алгоритмической информации. Поскольку в таком числе нет определяющей структуры, длина самой короткой программы, необходимой для его написания, будет близка к длине самого числа:

*Начать  
Напечатать «1,341285...64»  
Конец*

### ОБЗОР: НЕПРИВОДИМАЯ СЛОЖНОСТЬ

- Курт Гедель показал неизбежную неполноту математики: в ней существуют истинные положения, которые невозможно строго доказать. Особое число  $\Omega$  выявляет еще большую неполноту и свидетельствует о существовании бесконечного множества теорем, которые нельзя вывести из конечного набора аксиом.
- Число  $\Omega$  строго определено и имеет вполне конкретное значение, но вычислить его с помощью конечной компьютерной программы невозможно.
- Анализ свойств числа  $\Omega$  показывает, что математикам иногда следует постулировать новые аксиомы. Именно так поступают физики, которые обобщают результаты экспериментов и выводят фундаментальные законы, недоказуемые с помощью логики.



Количество алгоритмической информации определяется размером компьютерной программы, необходимой для генерации данных. Например, число  $\pi$  содержит мало алгоритмической информации, поскольку его можно вычислить с помощью короткой программы. Алгоритмическая информация случайного числа велика: его проще ввести непосредственно. Это справедливо и для числа  $\Omega$ .

(В программу должны быть включены все цифры, замененные многоточием.) Никакая более короткая программа не позволит рассчитать подобную последовательность цифр: ее невозможно сжать, в ней нет избыточности. Самое лучшее, что можно сделать, — просто передать ее, как она есть. Такие последовательности называются неприводимыми или алгоритмически случайными.

Как же соотносятся вышесказанное с научными законами и фактами? Идея заключается в том, чтобы взглянуть на науку глазами программиста: научная теория подобна компьютерной программе, предсказывающей результаты наблюдений, т.е. экспериментальные данные. Такая точка зрения опирается на два фундаментальных принципа. Согласно первому («бритва Оккама»), из двух теорий, объясняющих некоторые данные, следует предпочесть более простую. Иначе говоря, наилучшей теорией является самая короткая программа, позволяющая рассчитать результаты наблюдений. Второй принцип, изложенный Лейбницем, в современных понятиях звучит так: теория, объем которой в битах равен количеству объясняемых ею данных, бесполезна, поскольку теорией такого размера можно описать совершенно

случайные данные. Полезная теория обеспечивает сокращение количества информации: осмысление данных — это их сжатие в краткие алгоритмические описания. Чем проще теория, тем лучше понимание сути явления.

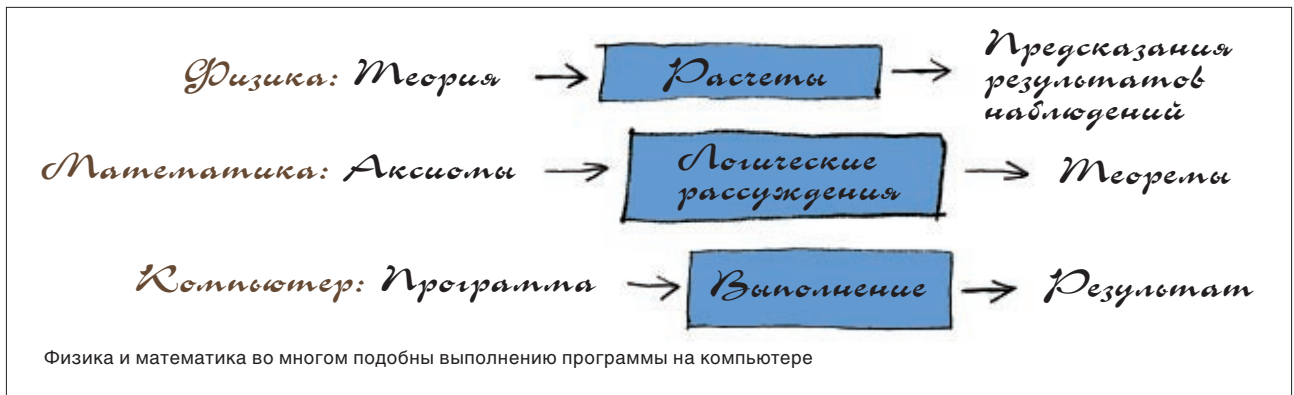
### Достаточная причина

Лейбниц, живший за два с половиной века до появления компьютерных программ, очень близко подошел к современному понятию алгоритмической информации. Лейбниц знал, что все можно представить в виде двоичных кодов, и создал одно из первых вычисли-

тельных устройств; рассматривая понятия сложности и простоты, он осознавал огромный потенциал вычислений. Если бы Лейбниц объединил все известные ему элементы, то, скорее всего, усомнился бы в одном из устоев своей философии — принципе достаточной причины, согласно которому все происходящее имеет причину. Более того, если какое-то положение истинно, то оно истинно по какой-то причине. Бывает, что в суете и хаосе повседневной жизни в это трудно поверить. Даже если мы не всегда можем увидеть причину (возможно потому, что цепочка рассуждений ►

### КАК ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ЧИСЛО $\Omega$

Чтобы понять, как определяется число  $\Omega$ , рассмотрим упрощенный пример. Допустим, что из всех программ некоего компьютера останавливаются всего три, которые представляют собой 110, 11100 и 11110, длиной 3, 5 и 5 битов соответственно. Если для выбора программ мы будем бросать монету, чтобы определять значение каждого очередного бита случайным образом, вероятности получения каждой из них будут равны соответственно  $\frac{1}{2}^3$ ,  $\frac{1}{2}^5$  и  $\frac{1}{2}^5$ , поскольку вероятность получения единицы или нуля для каждого бита равна  $\frac{1}{2}$ . Тогда вероятность останова программы для такого компьютера будет определяться выражением:  $\Omega = \frac{1}{2}^3 + \frac{1}{2}^5 + \frac{1}{2}^5 = 0,001 + 0,00001 + 0,00001 = 0,00110$ . Здесь двоичные числа выражают вероятность случайного выбора одной из трех останавливающихся программ. Поскольку программа 110 останавливается, мы не рассматриваем программы длиной больше трех битов, начинающиеся с 110, например, 1100 и 1101, т.е. мы не добавляем к сумме 0,0001 для каждой из них. Мы считаем все более длинные программы (1100 и т.д.) с таким началом включенными в программу 110, которая останавливается. Другими словами, данные программы являются самоограничивающимися, поскольку после их остановки последующие биты не запрашиваются.



слишком длинна и запутанна), ее видит Бог. Вот и все! Здесь Лейбниц соглашался с древнегреческими авторами этой идеи.

Математики, несомненно, безоговорочно принимают принцип достаточной причины Лейбница, потому что всегда стремятся все доказать. Даже если истинность теоремы очевидна, и миллионы примеров подтверждают ее, математики все равно требуют обобщенного доказательства, на меньшее они не согласны. И здесь концепция алгоритмической информации может внести удивительный вклад в философские рассуждения об источниках и пределах познания. Она показывает, что некоторые математические факты истинны безо всяких причин, и бросает вызов принципу достаточной причины. Как будет показано ниже, существует бесконечное число неприводимых математических фактов, истинность

**ОБ АВТОРЕ**

**Грегори Чейтин** (Gregory Chaitin) — научный сотрудник Исследовательского центра им. Томаса Уотсона корпорации IBM, почетный профессор Университета Буэнос-Айреса и Оклендского университета. Параллельно с А.Н. Колмогоровым занимался разработкой теории алгоритмической информации. Написал 9 книг, в том числе две научно-популярные: «Беседы с математиком» (*Conversations with a Mathematician*) и «Метаматематика!» (*Meta Math!*).

которых нельзя объяснить никакой теорией. Они неприводимы не только вычислительно, но и логически. «Доказать» эти факты можно только одним способом: признать их аксиомами без всяких рассуждений.

Понятие «аксиома» тесно связано с логической неприводимостью. Аксиомы — это математические положения, которые мы считаем самоочевидными и не пытаемся доказать, исходя из более простых принципов. Все математические теории основаны на аксиомах, из которых выводятся следствия, называемые теоремами. Именно так поступал Евклид два тысячелетия назад: его труды по геометрии стали классическим примером математического изложения.

В Древней Греции, чтобы убедить сограждан проголосовать именно так, а не иначе, вы должны были бы привести им свои доводы. Вероятно, именно поэтому греки пришли к мысли, что математические положения нужно доказывать, а не выводить опытным путем. (В отличие от греков, древнейшие цивилизации Месопотамии и Египта, похоже, полагались на эксперимент.) Метод логических рассуждений оказался чрезвычайно плодотворным: с его помощью были созданы современная математика, математическая физика и все точные науки, включая технологию создания компьютеров — в высшей степени математичных и логичных машин. Утверждаю ли я, что подход, на котором математика и вся наука

строились в течение двух тысячелетий, терпит крах? В каком-то смысле да. Моим контрпримером, иллюстрирующим ограниченность возможностей логики и рассуждений, моим источником бесконечного потока недоказуемых математических положений является число, которое я назвал «омега» ( $\Omega$ ).

**Число  $\Omega$**

Первый шаг к открытию числа  $\Omega$  был сделан в знаменитой статье, опубликованной ровно через 250 лет после издания эссе Лейбница. В 1936 г. на страницах «Трудов Лондонского математического общества» (*Proceedings of the London Mathematical Society*) Алан Тьюринг впервые представил математическую модель простой универсальной вычислительной машины. Кроме того, он задался вопросом: можно ли определить, остановится когда-нибудь компьютерная программа или нет? Так была сформулирована знаменитая проблема останова.

Разумеется, запустив программу, вы можете со временем обнаружить, что она остановилась. Фундаментальная проблема заключается в том, чтобы решить, когда вы сдадитесь и перестанете ждать, если программа не останавливается. Для множества частных случаев она может быть решена, но Тьюринг показал, что общего решения не существует. Никакой алгоритм и никакая математическая теория не позволят определить, какая программа

остановится, а какая нет. (Современное доказательство данного положения Тьюринга можно найти по адресу: [www.sciam.com/ontheweb](http://www.sciam.com/ontheweb)) Кстати, употребляя слово «программа» в современном смысле, я имею в виду совокупность самой компьютерной программы и данных, которые она обрабатывает.

Следующим шагом на пути к числу  $\Omega$  становится рассмотрение множества всех возможных программ. Остановится ли когда-нибудь выбранная случайным образом программа? Вероятность останова и есть  $\Omega$ . Определим сначала, как осуществить случайный выбор программы. Программа представляет собой последовательность битов, поэтому для выбора значения каждого последующего бита будем просто бросать монету. Сколько битов должна содержать программа? Будем бросать монету до тех пор, пока компьютер не перестанет запрашивать следующий бит. Число  $\Omega$  есть вероятность того, что при введении такой случайной последовательности битов машина когда-нибудь остановится. (Численное значение  $\Omega$  зависит от выбора языка программирования, но удивительные свойства этого числа с ним не связаны. Когда же язык выбран,  $\Omega$  приобретает определенную величину, так же, как число  $\pi$  или число 5.)

Поскольку число  $\Omega$  выражает вероятность, оно должно быть больше нуля, но меньше единицы, т.к. некоторые программы останавливаются, а некоторые — нет. Число  $\Omega$ , записанное в двоичном коде, будет иметь вид вроде 0,1110100... Последовательность битов после запятой неприводима, а сами они оказываются неприводимыми математическими фактами (каждый факт состоит в том, является ли данный бит нулем или единицей).

Число  $\Omega$  можно определить как бесконечную сумму, и каждая программа длиной  $N$  битов вносит в нее свой вклад, равный  $\frac{1}{2^N}$  (стр. 41). Иными словами, каждая  $N$ -битовая

программа, которая останавливается, добавляет единицу к  $N$ -ному биту двоичного представления числа  $\Omega$ . Сложив все биты, соответствующие остановившимся программам, мы можем получить точное значение  $\Omega$ . Создается впечатление, что  $\Omega$  можно вычислить точно, как  $\sqrt{2}$  или  $\pi$ . Однако это не так: число  $\Omega$  строго определено и имеет вполне конкретное значение, но рассчитать его невозможно, поскольку это позволило бы решить проблему останова, у которой действительно нет решения. Если говорить конкретнее, знание первых  $N$  битов числа  $\Omega$  позволяет определить, остановится ли когда-нибудь любая программа длиной до  $N$  битов (стр. 44), из чего следует, что для нахождения  $N$  битов числа  $\Omega$  требуется программа длиной не менее  $N$  битов. Заметьте, я не утверждаю, что нельзя определить некоторое число битов числа  $\Omega$ . Например, зная, что компьютерные программы 0, 10 и 110 останавливаются, мы можем говорить, что с точностью до первых трех битов  $\Omega$  имеет вид 0,111. Дело в том, что первые  $N$  битов  $\Omega$  нельзя вычислить с помощью программы, которая была бы существенно короче  $N$  битов.

Самое главное, что  $\Omega$  дает нам бесконечное число неприводимых битов. Любая программа конечной

Научная теория подобна компьютерной программе, предсказывающей результаты наблюдений. Полезная теория представляет собой сублимацию экспериментальных данных: с помощью нескольких законов и уравнений можно описать целый мир различных явлений



Готфрид Лейбниц, которому в Лейпциге поставлен памятник, еще 300 лет назад предвидел многие свойства алгоритмической информации

длины, сколько миллиардов битов она бы ни содержала, не поможет нам определить оставшиеся биты, которых бесконечно много. Иными словами, при любом конечном наборе аксиом мы имеем бесконечное число истин, которые не могут быть доказаны с помощью этого набора.

Из неприводимости числа  $\Omega$  следует, что всеобъемлющей математической теории существовать не может. Бесконечное множество битов  $\Omega$  составляет бесконечное множество математических фактов (является ли каждый выбранный бит



единицей или нулем), которые не могут быть выведены из каких бы то ни было принципов, более простых, чем сама последовательность битов. Значит, сложность математики бесконечна, тогда как любая отдельная «теория всего на свете» характеризуется конечной сложностью и, следовательно, не может охватить все богатство мира математических истин. Из сказанного отнюдь не следует, что от доказательств нет никакого толка, и я ни в коем случае не против логических рассуждений. На самом деле, неприводимые принципы (аксиомы) всегда составляли часть математики. Просто число  $\Omega$

показывает, что их гораздо больше, чем предполагалось ранее.

Возможно, математикам не нужно пытаться все доказать. Иногда им следует просто добавлять новые аксиомы, когда дело доходит до неприводимых фактов. Проблема в том, чтобы понять, что они неприводимы, и признать, что их невозможно доказать. Однако математики никогда не сдадутся, в отличие от физиков, которые всегда готовы обойтись правдоподобными рассуждениями вместо строгих доказательств, и охотно выводят новые законы, чтобы осмыслить свежие экспериментальные данные.

Возникает интересный вопрос: похожа ли математика на физику?

## Математика и физика

Принято считать, что математика и физика совершенно не похожи друг на друга. Физики описывают мир, исходя из результатов экспериментов и наблюдений. Законы, управляющие Вселенной, будь то законы Ньютона или Стандартная модель физики элементарных частиц, должны устанавливаться эмпирически и затем приниматься за аксиомы, которые невозможно доказать логическим путем, а можно лишь проверить экспериментально. Математики же в некотором смысле независимы от мира. Их выводы и теоремы, например, свойства целых или вещественных чисел, никак не зависят от окружающей нас реальности. Математические истины должны быть верны в любом мире. И все же определенное сходство есть. В физике, и вообще в естественных науках, ученые формулируют законы, сублимируя результаты наблюдений. Затем они показывают, как результаты наблюдений могут быть выведены из получившихся законов. В математике происходит нечто подобное: математики сжимают результаты вычислительных экспериментов в аксиомы, а затем выводят из них теоремы.

Если бы Гильберт оказался прав, то математика была бы замкнутой системой, в которой нет места новым идеям. Существовала бы статичная замкнутая теория, объясняющая в математике все, и это было бы похоже на диктатуру. Чтобы математика развивалась, нужны новые идеи и простор для творчества. Недостаточно усердно работать, выводя все возможные следствия из фиксированного числа базовых принципов. Лично мне больше нравятся открытые системы, я не люблю жестких, авторитарных способов мышления.

Имре Лакатош (Imre Lakatos), бежавший в 1956 г. из Венгрии и

## ПОЧЕМУ ЧИСЛО $\Omega$ НЕСЖИМАЕМО?

Попробуем доказать, что число несжимаемо, т.е. его первые  $N$  битов невозможно определить с помощью программы длиной существенно меньше  $N$  битов. Проанализируем свойства  $\Omega$  в свете поставленной Тьюрингом проблемы останова. Используем утверждение, что для программ длиной до  $N$  битов задача не может быть решена с помощью программы меньшей длины (см.: [www.sciam.com/ontheweb](http://www.sciam.com/ontheweb)).

Для демонстрации несжимаемости числа  $\Omega$  покажем, что знание первых его  $N$  битов позволяет решить задачу Тьюринга для программ длиной до  $N$  битов. Из этого будет следовать, что никакая программа длиной меньше  $N$  битов не может вычислить первые  $N$  битов  $\Omega$ . (Если бы такая программа существовала, с ее помощью можно было бы вычислить первые  $N$  битов  $\Omega$ , а затем использовать их в решении задачи Тьюринга для программ длиной  $N$  битов — задача невыполнимая с помощью столь короткой программы.)

Посмотрим теперь, как знание  $N$  битов  $\Omega$  позволит решить задачу останова и определить, какие из всех программ длиной до  $N$  битов будут останавливаться. Сделаем это поэтапно. На  $K$ -м этапе будем прогонять каждую программу в течение  $K$  секунд и по числу остановившихся программ определять вероятность остановки  $\Omega_K$ . Она окажется меньше  $\Omega$ , поскольку будет получена с использованием лишь подмножества программ, которые в конце концов останавливаются, тогда как  $\Omega$  рассчитывается с использованием всех программ. С увеличением  $K$  значение  $\Omega_K$  будет приближаться к  $\Omega$ , и все больше первых битов  $\Omega_K$  будут становиться равными соответствующим битам  $\Omega$ . Когда первые  $N$  битов  $\Omega_K$  и  $\Omega$  совпадут, это будет значить, что учтены все программы длиной до  $N$  битов, которые рано или поздно останавливаются. (Если бы существовала еще какая-то программа длиной  $N$  битов, она остановилась бы на более позднем этапе  $K$ , и тогда  $\Omega_K$  оказалось бы больше  $\Omega$ , что невозможно.)

Итак, зная первые  $N$  битов  $\Omega$ , можно решить задачу останова для всех программ длиной до  $N$  битов. Предположим теперь, что первые  $N$  битов  $\Omega$  можно определить с помощью программы длиной существенно меньше  $N$  битов. Тогда ее можно объединить с программой вычисления  $\Omega_K$  и получить в итоге программу длиной меньше  $N$  битов для решения проблемы останова для всех программ длиной до  $N$  битов. Однако, как сказано выше, такой программы существовать не может. Следовательно, для вычисления первых  $N$  битов  $\Omega$  требуется программа длиной почти  $N$  битов. Этого достаточно, чтобы признать число  $\Omega$  несжимаемым, т.е. неприводимым. (Для больших  $N$  сокращение длины с  $N$  битов до почти  $N$  битов несущественно.)

впоследствии занимавшийся философией науки в Англии, тоже считал, что математика похожа на физику. Он ввел понятие квазиэмпиричности, чтобы показать, что и математике не чужды эксперименты. Например, еще в 1742 г. Кристиан Гольдбах опытным путем пришел к предположению, что любое четное число больше двух можно представить в виде суммы двух простых чисел. Предположение Гольдбаха успешно проверено для чисел до 1014, но строго не доказано. Мне кажется, что математика квазиэмпирична. Иными словами, она отличается от физики (которая истинно эмпирична), но, вероятно, не так сильно, как полагает большинство людей.

### Новые аксиомы

Идея добавления новых аксиом не чужда математикам. Возьмем для примера пятый постулат Евклида: через выбранную точку, лежащую вне прямой, можно провести только одну прямую, параллельную данной. Столетиями геометры ломали голову, пытаясь доказать это, исходя из остальных постулатов Евклида. Не удалось. Наконец, математики поняли, что пятую аксиому можно заменить и получить неевклидову геометрию криволинейных пространств, в частности сферического и седлообразного. Другим примером могут служить закон исключенного среднего в логике и аксиома выбора в теории множеств, которыми охотно пользуется в своих доказательствах большинство математиков. Но ведь есть ученые, которые их не признают и исследуют так называемую интуиционистскую логику и конструктивистскую математику. Оказывается, математика пока не превратилась в монолитную систему абсолютных истин!

Другой очень интересной аксиомой может стать утверждение « $P$  не равно  $NP$ », где  $P$  и  $NP$  — названия классов задач. К классу  $NP$  относятся задачи, для которых предлагаемое

решение можно проверить очень быстро. Например, для задачи «найти множители числа 8 633» предлагаемое решение «97 и 89» быстро проверяется простым перемножением. (Существует строгое определение понятия «быстро», но подробности здесь не имеют значения.) Класс  $P$  составляют задачи, которые можно быстро решить, не имея предварительного предположения. Вопрос, ответа на который не знает никто, состоит в том, можно ли быстро решить любую задачу класса  $NP$ . (Есть ли способ быстро найти множители числа 8 633?) Иначе говоря, тождественны ли классы  $P$  и  $NP$ ? Это один из пунктов списка «Проблем тысячелетия» Математического института Клея, за решение каждой из которых назначена награда в \$1 млн.

Большинство специалистов по вычислительной технике убеждено, что  $P$  не равно  $NP$ , но строгое доказательство пока не найдено. Истинность такого предположения подтверждается множеством эмпирических свидетельств, но можно ли на этом основании принять его в качестве аксиомы? Специалисты по вычислительной технике именно так и поступили. Правда, остается вопрос о надежности некоторых широко применяемых криптографических систем: считается, что взломать их невозможно, но никто не может этого доказать.

### Экспериментальная математика

На стыке физики и математики возникла экспериментальная математика: открытие новых математических закономерностей путем компьютерной обработки большого числа примеров. Такой подход не столь убедителен, как короткое доказательство, но может быть убедительнее длинного, сложного доказательства и в некоторых случаях вполне приемлем. В прошлом данную концепцию отстаивали и Дьердь Пойа (George Pólya), и Лакаатош, — убежденные



Число  $\Omega$  представляет собой непознаваемую часть математики. Компьютерная программа конечной длины позволяет определить лишь конечное число битов этого числа; все последующие остаются во мраке неизвестности.

сторонники эвристических методов и квазиэмпирической природы математики. Они применяются и обосновываются в книге «Новый вид науки» (*A New Kind of Science*) Стивена Вольфрама (Stephen Wolfram), вышедшей в 2002 г.

Масштабные компьютерные вычисления могут быть очень убедительными, но избавляют ли они от необходимости доказательств? И да, и нет. Вычисления и доказательства дают свидетельства разного рода. В особо важных случаях я считаю необходимыми и те, и другие, поскольку доказательства могут содержать ошибки, а компьютерные вычисления могут, по несчастью, быть остановлены как раз перед обнаружением контрпримера, который опроверг бы предполагаемый вывод.

Рассмотренные вопросы чрезвычайно интересны, но далеки от решения. Со времени публикации статьи о доказательстве Геделя прошло 50 лет, а сейчас, в 2006 г., мы все еще не знаем, насколько серьезна неполнота, и не следует ли из-за нее пересмотреть математические методы. Возможно, через 50 лет ответ будет найден. ■

Терренс Коллинз и Чип Уолтер

# МАЛЕНЬКИЕ ЗЕЛЕНЫЕ МОЛЕКУЛЫ

## БОРЬБА С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

Катализаторы, названные *TAML* (*зеленые молекулы*), вместе с перекисью водорода (*синие молекулы*) разрушают структуру хлорфенолов (*коричневые молекулы*), которые во многих случаях загрязняют сточные воды промышленного происхождения



## Химики выделили новый класс катализаторов, которые в состоянии уничтожать самые серьезные загрязнители, прежде чем они попадут в окружающую среду

**Р**ыбам, обитающим в реке Анакостиа, которая течет через центр Вашингтона, округ Колумбия, совсем не нравится ее вода, загрязненная остатками молекул красителей, пластмасс, асфальта и пестицидов. Недавние исследования показали, что до 68% поголовья обитающего здесь американского сомика (*Ictalurus nebulosus*) страдает раком печени. Чиновники, занятые в сфере охраны дикой природы, рекомендуют отпускать пойманную рыбу обратно в водоем и не употреблять ее в пищу. Купание также запрещено. Однако Анакостиа — всего лишь одна из множества сильно загрязненных рек США. Только текстильная промышленность ежегодно сбрасывает в водные артерии Америки 53 млрд. галлонов сточных вод, в которых содержатся активные красители и другие вредные химические соединения. В питьевой воде можно обнаружить следы некоторых лекарственных препаратов, пестицидов, косметических и даже противозачаточных средств гормонального характера (стр. 49). Известно, что мизерные количества некоторых загрязняющих веществ могут влиять на биохимические процессы, определяющие поведение, интеллект, иммунитет и воспроизводство человека.

В последнее десятилетие ученые стали прогнозировать последствия

применения различных химических соединений. Они предложили использовать более безопасные заменители вредных красителей и пластмасс и разработали новые методы производства, которые снижают вероятность попадания загрязнителей в окружающую среду. Кроме того, исследователи создают рентабельные технологии очистки сточных вод от многих постоянно присутствующих загрязняющих веществ.

Ученые Института химии зеленого окисления, входящего в состав Университета Карнеги-Меллона, разработали группу соединений каталитического действия, названную тетраамидо-макроциклическими лигандами (*tetra-amido macrocyclic ligand, TAML*). Этот класс соединений представляет собой активаторы, которые вместе с перекисью водорода и другими окислителями разрушают структуру многих стойких загрязнителей, копируя действие ферментов, борющихся в организме человека с токсичными соединениями. В лабораторных и эксплуатационных испытаниях было показано, что активаторы способны уничтожать опасные пестициды, красители и другие загрязнители, снижать уровень окрашивания сточных вод, сбрасываемых предприятиями целлюлозно-бумажной промышленности, а также убивать споры бактерий типа сибирской язвы. Широкое использование *TAML* помогло бы сэкономить миллионы долларов, которые тратятся на очистку сточных вод. Кроме того, исследования показывают, что зеленая химия в состоянии частично снизить ущерб, наносимый окружающей среде традиционными процессами химического производства.

### Потребность в химии зеленых молекул

В отличие от матушки-природы, человек нередко использует химические процессы и реализует их во вред себе и окружающей среде.

На протяжении миллионов лет на нашей планете происходили естественные, природные процессы, в которых участвовали такие распространенные элементы, как углерод, водород, кислород, азот, сера, кальций и железо. В современной промышленности, напротив, используются достаточно редкие элементы (например, свинец), добываемые в самых укромных уголках Земли. Теперь свинец, который чрезвычайно ядовит и негативно влияет на здоровье, особенно детей, встречается повсеместно, т.к. он входит в состав красок для автомобилей и используется в других промышленных товарах. То же самое можно сказать о мышьяке, кадмии, ртути, уране и плутонии, т.е. постоянных загрязнителях, не разрушающихся ни в организмах животных, ни в окружающей среде.

Некоторые из новых синтетических соединений в лекарственных препаратах, пластмассах и удобрениях настолько отличны от конечных продуктов естественной химии, что, кажется, они попали к нам из других миров. Многие из них разлагаются с большим трудом. Недавние проведенные исследования показывают, что некоторые из этих веществ могут вмешиваться в нормальную экспрессию генов, отвечающих за развитие репродуктивной системы мужского организма. Ученые выяснили, что если в период внутриутробного развития в организм мужских особей грызунов попадают фталаты — составы, используемые при производстве пластмасс и косметических средств, — то репродуктивный тракт новорожденных может претерпевать изменения. В 2005 г. появилось сообщение Шанна Сван (Shanna H. Swan) из Школы медицины и стоматологии Рочестерского университета об их аналогичном воздействии на младенцев мужского пола.

Стабильные загрязнители, сбрасываемые промышленными предприятиями, канализационными ►

коллекторами и фермерскими хозяйствами, могут распространяться по воздуху, с водой, попадать в цепь питания и часто непосредственно в организм человека или животного. Поэтому ученые-химики, работающие в области «зеленых молекул», стремятся найти

виде промышленности. Теперь большинство предприятий отбеливает древесную массу двуокисью хлора, в результате чего образование диоксинов сокращается, но не устраняется полностью.

Хлор в своем наиболее распространенном в природе виде (ионах

## Зеленая химия позволяет снизить ущерб, наносимый окружающей среде химическим производством

адекватную замену некоторым наиболее токсичным соединениям, используемым в производственных процессах (стр. 52).

В 1980-х гг. группа Коллинза в Университете Карнеги-Меллона занялась изучением воздействия соединений хлора на окружающую среду. Хлор часто используется для очистки и дезинфекции, а также при обработке питьевой воды. Несмотря на то, что хлорирование обходится недорого и дает хорошие результаты, при этом образуются опасные загрязнители. Исследования показали, что появление некоторых раковых заболеваний было связано с хлорированием питьевой воды. Было также установлено, что отбеливание древесной массы элементарным хлором на целлюлозно-бумажных комбинатах стало причиной онкологических заболеваний, поэтому в 2001 г. Управление по охране окружающей среды запретило использование хлора в этом

хлора или растворенных в воде солях) не токсичен, но при реакции элементарного хлора с другими молекулами могут образоваться соединения, влияющие на биохимию животных. Диоксины, например, нарушают клеточное развитие, вмешиваясь в работу рецепторной системы, которая регулирует образование необходимых белков.

Недавно выделенные *TAML*-катализаторы, возможно, в состоянии уничтожить ряд самых серьезных загрязнителей до того, как они попадут в реки и озера, например, при очистке сточных вод предприятий текстильной и целлюлозно-бумажной промышленности. Катализаторы могут разрушать структуру красителей, хлорсодержащих органических соединений и других вредных веществ. *TAML* также пригоден для обработки стоков сельскохозяйственных отстойников, сточных вод жилых районов, которые содержат красители и следы вредных

препаратов, содержащихся в человеческой моче.

Можно ли использовать природные очищающие свойства перекиси водорода и кислорода, чтобы ликвидировать множество загрязнителей? В природе в процессе переработки обычно присутствует фермент — биохимический катализатор, который способствует химическому взаимодействию молекул. Некоторые природные катализаторы могут ускорить химические реакции в миллиард раз. В природе ферменты пероксидазы влияют на реакции с участием перекиси водорода, а другое семейство ферментов ускоряет реакции с участием кислорода (реакции окисления). Например, благодаря цитохрому *p450s* кислород в печени человека уничтожает многие токсичные соединения.

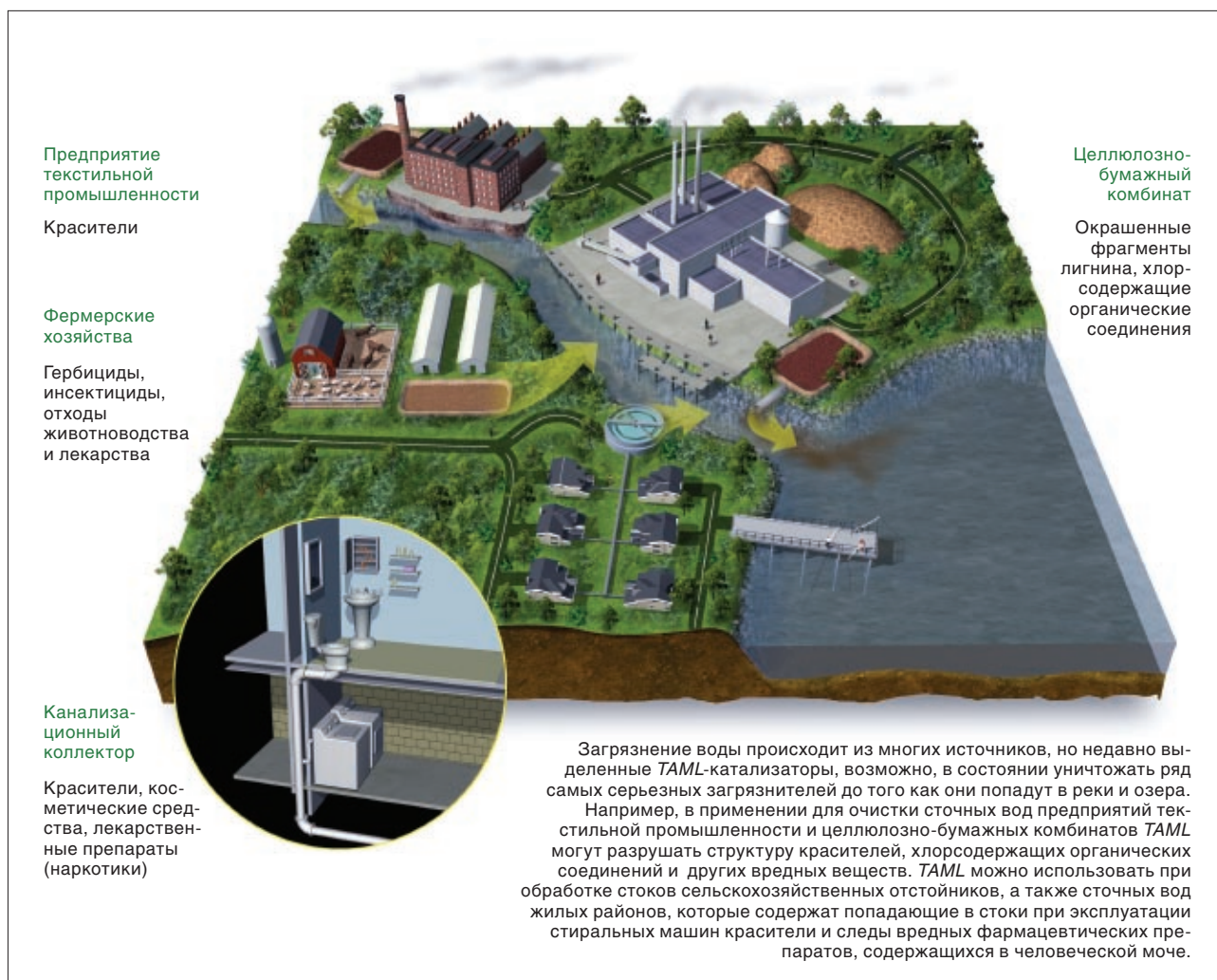
Ученые стремятся создать молекулы с каталитическими свойствами, благодаря которым можно было бы исключить технологические окислительные процессы, подразумевающие применение хлор- и металлсодержащих соединений.

### Каталитические преобразователи

Создание синтетических ферментов означает составление соединений, которые были бы достаточно устойчивы к тем разрушительным реакциям, катализаторами которых они служат. Любые химические реакции с участием кислорода могут носить деструктивный характер за счет его крепких связей с другими элементами (особенно водородом). И поскольку каждая молекула перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) занимает промежуточное положение между водой ( $H_2O$ ) и молекулярным кислородом ( $O_2$ ), такое соединение является сильным окислителем. В воде перекись водорода часто уничтожает вокруг себя органические (углеродсодержащие) молекулы. Анализ построения ферментов показал, что внутри молекулярной структуры

### ОБЗОР: КАТАЛИЗАТОРЫ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ

- Многие загрязнители, попадающие в водотоки, например, красители и пестициды, наносят вред окружающей среде и здоровью людей.
- Недавно созданные катализаторы, напоминающие ферменты (сокращенно *TAML*), в состоянии разрушать структуру стойких загрязнителей за счет ускорения их взаимодействия с перекисью водорода.
- При очистке сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов *TAML* препятствуют образованию окрашивающих и других вредных соединений. Возможно, эти катализаторы будут использоваться для очистки питьевой воды и для ликвидации загрязнений, вызванных применением биологического оружия.



Загрязнение воды происходит из многих источников, но недавно выделенные *TAML*-катализаторы, возможно, в состоянии уничтожать ряд самых серьезных загрязнителей до того как они попадут в реки и озера. Например, в применении для очистки сточных вод предприятий текстильной промышленности и целлюлозно-бумажных комбинатов *TAML* могут разрушать структуру красителей, хлорсодержащих органических соединений и других вредных веществ. *TAML* можно использовать при обработке стоков сельскохозяйственных отстойников, а также сточных вод жилых районов, которые содержат попадающие в стоки при эксплуатации стиральных машин красители и следы вредных фармацевтических препаратов, содержащихся в человеческой моче.

органических групп работающего катализатора должен находиться атом железа. Поэтому мы укрепили молекулярную структуру данных групп, обеспечивая их выживаемость в условиях активации перекиси водорода. В результате был

На следующем этапе исследования мы связали лиганды в крупную внешнюю кольцевую структуру или макроцикл. Со временем стали создаваться лиганды и связующие системы, обладающие достаточной устойчивостью в противостоя-

Но у одних на это уходит несколько минут, а у других — несколько часов. Для построения брандмауэров из лигандов необходимо было разработать процесс, в ходе которого мы синтезировали лигандные структуры, призванные удерживать брандмауэр на месте. Подвергнув катализатор окислению до разрушения брандмауэра, мы определили место начала разрушения. Как только была обнаружена связь, она была заменена группами атомов.

Через 15 лет мы, наконец, создали первый работающий *TAML*. Каждый раз, когда темный краситель вводили в раствор, содержащий катализатор и перекись водорода, он обесцвечивался. Молекулы действовали подобно ферментам, но размер их был гораздо меньше: молекулярный ▶

## Катализатор, будь то природное или искусственное соединение, способствует химическому взаимодействию определенных молекул

создан катализатор, где четыре атома азота соединены ковалентными связями с намного более крупным атомом железа. Соответственно, у них есть объединенные пары электронов (стр. 51). Такого рода структуры называют лигандами.

нии бурно протекающим реакциям, инициируемым *TAML*. Чем длиннее оказывался период оказываемого противодействия, тем лучше был катализатор. Все существующие *Fe-TAML* катализаторы (*TAML* с атомом железа в центре) разлагаются.

вес TAML составляет приблизительно 500 дальтонов, в то время как вес пероксидазы ложечницы приморской (*cochlearia maritima*) составляет приблизительно 40 тыс. дальтонов. Маленькие TAML-активаторы производить легче и дешевле, и они более универсальны, чем их природные эквиваленты.

Теперь создано более 20 различных TAML, у каждого из которых была собственная скорость реакции и срок службы. Большинство катализаторов включает в себя низ-

загрязнители на нетоксичные составляющие, не оставляя за собой посторонних примесей. На TAML-активаторы было получено более 90 международных патентов.

В состав Fe-TAML в твердом состоянии, как правило, входит одна молекула воды, присоединенная к атому железа в качестве лиганда, которая ориентирована перпендикулярно к четырем азотным лигандам. При попадании Fe-TAML в раствор с противоположной стороны атома железа присоединяется еще

США, показали, что Fe-TAML в сочетании с перекисями можно использовать для ликвидации последствий террористических актов, проводимых с использованием биологических средств. Мы выяснили, что сочетание одной молекулы TAML с трет-бутилпероксидом (вариантом перекиси водорода, в котором один из атомов водорода замещен атомом углерода с тремя метильными (CH<sub>3</sub>) группами) создает раствор, способный в течение 15 минут дезактивировать 99.99999% спор *Bacillus atrophaeus* — разновидности бактерий, напоминающих сибирскую язву. Мы также надеемся использовать Fe-TAML и перекись водорода для создания недорогого дезинфицирующего средства, способного справиться с вредными микроорганизмами.

Ежегодно целлюлозно-бумажная промышленность производит более 100 млн. т обесцвеченной целлюлозы, которая превращается в белую бумагу. Побочными продуктами производства становятся диоксины, хлорфенолы и другие вредные хлорсодержащие органические соединения, например, крупные фрагменты полимера, связующего волокна целлюлозы в древесине (лигнина). Отбеливание двуокисью хлора удаляет лигнин из целлюлозы. Мелкие фрагменты лигнина перерабатываются бактериями и другими организмами в очистных сооружениях, крупные же попадают в водоемы и окрашивают водные потоки. Это препятствует проникновению в воду света, что мешает фотосинтезу и лишает пищи организмы, питающиеся растениями.

Мы проверили эффективность Fe-TAML на целлюлозно-бумажных комбинатах, где вводили его в сброс сточных вод объемом 50 тыс. л., что позволило уменьшать окрашивание воды на 78% и снизило количество хлорсодержащих органических соединений на 29%.

Эрик Гейгер (Eric Geiger) из компании *Urethane Soy Systems* ▶

## Создание TAML в лаборатории — одно дело; доведение их до коммерческого использования — совсем другое

котоксичные углерод, водород, кислород, азот и железо. Некоторые соединения мы называем TAML-охотниками, потому что они предназначены для поиска и захвата конкретных загрязнителей или патогенов. Другие TAML активно выжигают большинство окисляемых химических соединений, с которыми они контактируют. Есть катализаторы, которые менее агрессивны и обладают селективностью. В ближайшие десятилетия мы надеемся применять TAML для развития зеленой химии. Несмотря на то, что предстоит еще провести много исследований, полученные данные показывают, что TAML дробят

одна молекула воды. Соединение в таких водных лигандах очень слабое, и если в растворе находится и перекись водорода, его молекула легко замещает молекулу воды. Перекисный лиганд стремительно воссоздает себя, высвобождая оба атома водорода и один атом кислорода, а оставшийся атом кислорода присоединяется к атому железа в центре молекулы Fe-TAML, которая теперь является промежуточным продуктом реакции.

Кислород по сравнению с железом обладает гораздо более сильными электроотрицательными свойствами, т.е. его ядро оттягивает на себя большую часть электронов, находящихся в совместном с ядром атома железа пользовании. В результате положительный заряд железа в центре TAML усиливается, что позволяет промежуточному продукту реакции отбирать электроны у находящихся в растворе и подверженных окислению молекул. Теперь стало возможным регулировать активность TAML за счет замены атомов молекулы.

### Перспективы промышленного применения

Исследования, финансируемые Национальным научным фондом

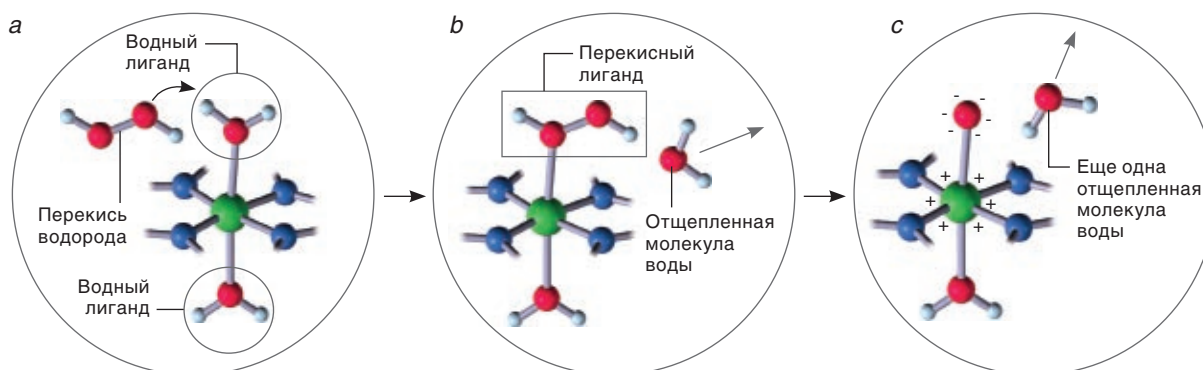
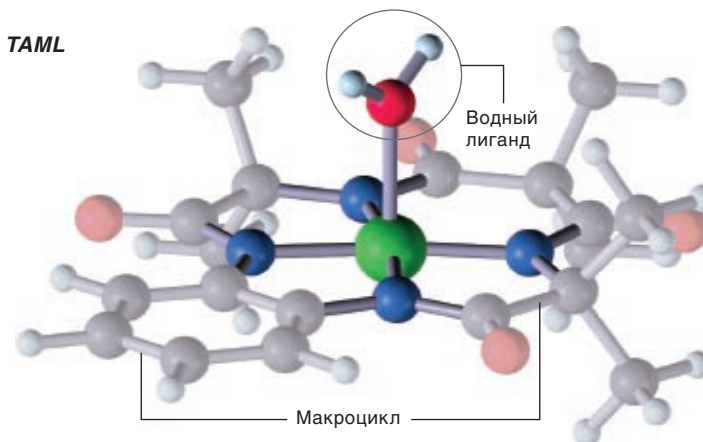
### ОБ АВТОРАХ

**Терренс Коллинз** (Terrence Collins) и **Чип Уолтер** (Chip Walter) исследуют возможности зеленой химии. Коллинз, почетный профессор Оклендского университета в Новой Зеландии, в Университете Карнеги-Меллона возглавляет Институт химии зеленого окисления. Уолтер — вице-президент по связям с общественностью в медицинском центре Питтсбургского университета, автор работ «Космическая эра» (*Space Age*), и «Я над этим работаю» (*I'm Working on That*).

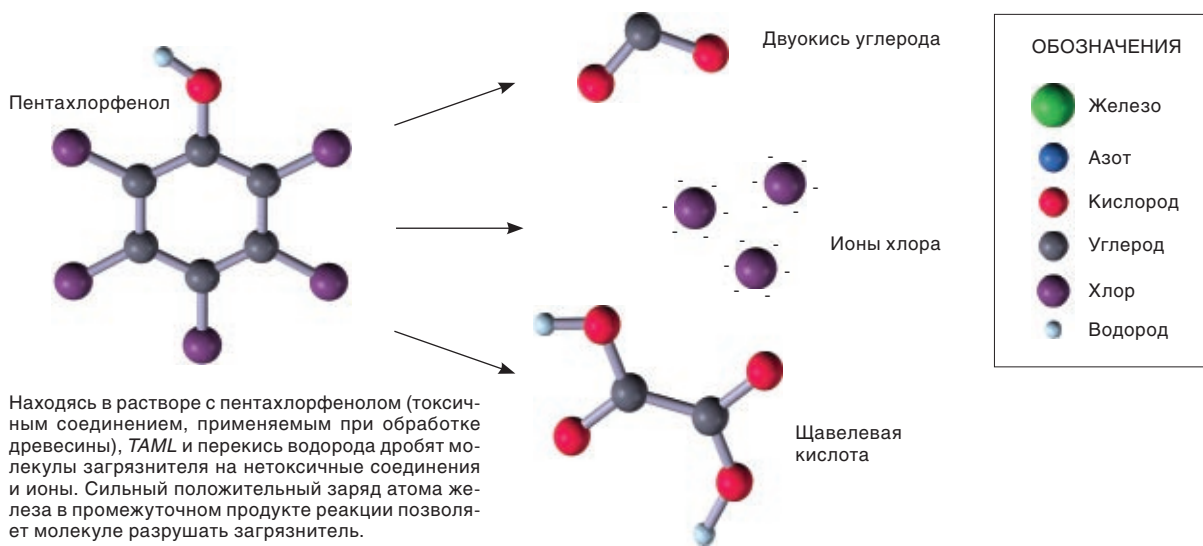
## МЕХАНИЗМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ОЧИСТКИ

Химики создали *TAML*, которые могли бы имитировать работу естественных ферментов, ускоряющих течение реакций с участием перекиси водорода. Размеры молекул *TAML* в сотни раз меньше размера молекул ферментов.

В центре каждой молекулы *TAML* находится атом железа, связанный с четырьмя атомами азота. С краю расположены углеродные структуры, объединенные в форме крупных внешних колец, названных макроциклами. Такая структура выступает в роли барьера, позволяя молекулам противостоять бурным реакциям, которые ими же и инициированы. В твердом состоянии в молекуле *TAML* к атому железа присоединена одна молекула воды ( $H_2O$ ).



Когда *TAML* растворяют в воде, к катализатору присоединяется молекула  $H_2O$  (а). Если в растворе находится перекись водорода ( $H_2O_2$ ), его молекула может встать на место одного из водных лигандов, слабо соединенных с основной структурой и легко отщепляющихся (б). Перекисный лиганд отдает атомы водорода и один атом кислорода с образованием молекулы воды, а оставшийся атом кислорода присоединяется к атому железа (с). Кислород оттягивает электроны от атома железа, превращая *TAML* в промежуточный продукт реакции.



Находясь в растворе с пентахлорфенолом (токсичным соединением, применяемым при обработке древесины), *TAML* и перекись водорода дробят молекулы загрязнителя на нетоксичные соединения и ионы. Сильный положительный заряд атома железа в промежуточном продукте реакции позволяет молекуле разрушать загрязнитель.

## ХИМИЯ СТАНОВИТСЯ ЗЕЛЕННОЙ

В задачи зеленой химии входит разработка продуктов и процессов, которые могли бы препятствовать образованию вредных соединений.

ПРОЕКТ	УЧАСТНИКИ	СОСТОЯНИЕ ДЕЛ
Использование растительных сахаров для получения полимолочных кислот (PLA), семейства разлагаемых микроорганизмами полимеров, которые могли бы заменить многие из пластмасс нефтяного происхождения	Патрик Грубер (Patrick Gruber), Ренди Ховард (Randy L. Howard), Джеффри Колстад (Jeffrey J. Kolstad), Крис Райан (Chris M. Ryan) и Ричард Бопп (Richard C. Bopp), компания <i>NatureWorks LLC</i> (филиал компании <i>Cargill</i> )	Компания <i>NatureWorks</i> построила в штате Небраска предприятие по производству PLA в гранулах, применимых при изготовлении бутылок для воды, упаковочных материалов и других изделий
Поиск реакций синтеза, которые позволяют заменить многие распространенные органические растворители, в том числе вызывающие онкологические заболевания, водой	Чао-Джун Ли (Chao-Jun Li), Университет Макгилла	Исследованиями занимаются как фармацевтические, так и коммерческие химические компании 
Развитие химии обменных реакций, метода органического синтеза, который позволил бы производить лекарства, пластмассы и другие химические соединения с меньшим количеством отходов	Роберт Груббс (Robert H. Grubbs), Калифорнийский технологический институт; Ричард Шрок (Richard R. Schrock), Массачусетский технологический институт; Ив Шовин (Yves Chauvin), Французский институт нефти	Широко применяется в химической и пищевой промышленности, а также в биотехнологии; в 2005 г. за эти исследования ученые получили Нобелевскую премию по химии 
При высоких температуре и давлении двуокись углерода обладает свойствами как жидкости, так и газа	Мартин Полякофф (Martyn Poliakoff), Майкл Джордж (Michael George) и Стив Хоудл (Steve Howdle), Ноттингемский университет, Англия	Томас Сван и К°. ( <i>Thomas Swan &amp; Co</i> ), британская компания, производящая химические соединения специального назначения, построила предприятие, где используются жидкости в суперкритическом состоянии
Поиск нового метода получения <i>sertraline</i> , ключевого компонента антидепрессанта <i>Zoloft</i>	Джеймс Спавинс (James Spavins), Джеральдин Тейбер (Geraldine Taber), Хуан Колберг (Juan Colberg) и Дэвид Пфайстерер (David Pfisterer), компания <i>Pfizer</i>	Процесс сократил уровень загрязнений, уменьшил энергетические затраты и расход воды, позволил улучшить состояние охраны труда и повысить выход продукта

обнаружил, что применение *Fe-TAML* дает превосходные результаты при переработке соевого масла в полезные полимеры, которые по своим физическим свойствам не уступают современным полиуретанам. Кроме того, добавление катализатора в некоторые моющие средства устранит необходимость разделять белое и цветное белье при стирке в стиральных машинах.

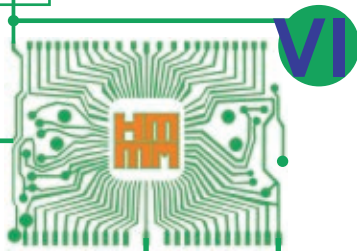
Несмотря на несомненный успех, предстоит провести еще множество испытаний в промышленном масштабе. Важно убедиться, что *TAML* не создают загрязнений, которые до сих пор не обнаружены.

Внедрение *TAML*-технологии не требует серьезного переоборудования предприятий и позволяет использовать рентабельные способы охраны окружающей среды. Новые

разработки в области зеленой химии предлагают альтернативные методы очистки. Возможно, теперь нам удастся создать мир, в котором мы сможем жить. ■

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- *Toward Sustainable Chemistry*. Terrence J. Collins in *Science*, Vol. 291, No. 5501, pages 48–49; January 5, 2001.
- *Rapid Total Destruction of Chlorophenols by Activated Hydrogen Peroxide*. Sayam Sen Gupta, Matthew Stadler, Christopher A. Noser, Anindya Ghosh, Bradley Steinhoff, Dieter Lenoir, Colin P. Horwitz, Karl-Werner Schramm and Terrence J. Collins in *Science*, Vol. 296, pages 326–328; April 12, 2002.
- Дополнительная информация доступна по адресу: [www.cmu.edu/greenchemistry](http://www.cmu.edu/greenchemistry) and [www.chemistry.org/portal/a/c/s/1/acsdisplay.html?DOC=greenchemistryinstitute/index.html](http://www.chemistry.org/portal/a/c/s/1/acsdisplay.html?DOC=greenchemistryinstitute/index.html)



## Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи НТТМ- 2006

20-24 июня 2006 г.  
Москва, ВВЦ, павильон № 57

Организаторы: Министерство образования и науки РФ, Правительство Москвы, Всероссийский выставочный центр. Совет ректоров вузов Москвы и Московской области

**НТТМ-2006** — это:

- демонстрация уникальных возможностей молодых специалистов в построении общества, основанного на знаниях;
- результаты поиска перспективных решений, воплощения новых идей в области науки, техники и технологий;
- итоги смотров и выставок научно-технического творчества и научно-исследовательской деятельности студентов, школьников, учащихся центров дополнительного образования.

Участники выставки — представители интеллектуальной молодежи из регионов России и стран СНГ в возрасте от 12 до 27 лет.

<http://www.vvcentre.ru>



# ETEC(r)

emerging technologies and entrepreneurship

## 2006 ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- КОНФЕРЕНЦИЯ
- ВЫСТАВКА
- ПОИСК ПАРТНЕРОВ
- БИЗНЕС-ЛАБОРАТОРИЯ
- ФИНАЛ КОНКУРСА VIT 2006
- ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИЕ СЕМИНАРЫ
- МАСТЕР-КЛАССЫ ОТ ГУРУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

- Настоящее и будущее рынка новых технологий в России/СНГ
- Привлечение инвестиций: взгляд корпоративных и венчурных инвесторов
- Защита интеллектуальной собственности
- Реальные механизмы коммерциализации технологий
- Бизнес-модели технологических компаний
- Факторы успеха в международных технологических рынках

Москва/15-16 июня 2006 г., Центральный Дом Предпринимателя

За дополнительной информацией обращайтесь по телефонам:

(495) 743 8561  
(495) 928 3964

[www.etcrcr.ru](http://www.etcrcr.ru)  
etcrcr@russee.com



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

## АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА  
ОБОРУДОВАНИЯ, МАШИН, ПРИБОРОВ,  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

10 – 12 октября 2006

ЦЕНТР МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ,  
РОССИЯ, МОСКВА

ОРГАНИЗАТОР:



ООО Инконекс  
Тел.: +7 (495) 739 5505, Факс: +7 (495) 641 22 38  
E-mail: [electronica@list.ru](mailto:electronica@list.ru), [www.inconex.ru](http://www.inconex.ru)

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



Федеральное агентство по атомной энергии



ФГУП концерн "Росэнергоатом"

ends and Citizens:

...served for a new election of a citizen  
...in your thoughts must be employed  
...due to a more distinct expression of  
...number of those out of whom a choice

...by you, at the same time, to us and the  
...the relation which binds a citizen  
...influenced by no diminution of zeal  
...vision that the step is compatible with

...acceptance of, and continuance of the  
...opinion of duty and to a deference for  
...motives which I was not at liberty to  
...the 14th, previous to the last election, will

...that posture of our affairs with justice  
...I rejoice that the state of your concerns  
...society, and am persuaded, whatever your  
...determination to retire.

...impressions with which I first understood  
...have, with good intentions, contributed  
...capable. Not unconscious in the outset  
...gathered the motives to diffidence of my

...cessary to me as it will be Delaware, I  
...relation to believe that, while I have not  
...looking forward to the moment when  
...and judgment of that sort of gathering  
...diffidence with which it has supported me,

Джеффри Шварц

# ЛИЦО ПРЕЗИДЕНТА



## С помощью компьютерного моделирования судебный антрополог восстановил облик юного Джорджа Вашингтона

**В** юности он срубил вишневое дерево и признался в этом своему отцу, а в зрелом возрасте носил деревянные вставные челюсти — вот все, что я знал раньше о Джордже Вашингтоне (1732–1799). Однако недавно я выяснил, что первый президент США никогда не рубил деревья и не надевал зубных протезов из дерева. Впрочем, это были лишь первые шаги на пути к истине.

Мое погружение в историю Америки началось, когда Джеймс Рис (James C. Rees), директор Маунт-Вернона (родовое имение Вашингтона), предложил мне восстановить внешность первого президента по его портретам и скульптурам. Осенью 2006 г. три фигуры в натуральную величину должны были украсить экспозицию нового образовательного центра при Маунт-Верноне. Предполагалось, что первая будет изображать девятнадцатилетнего Вашингтона, начинающего землемера. Вторая фигура должна напомнить о суровой зиме 1777 г., когда на сорок пятом году жизни Вашингтон во главе Континентальной армии готовился напасть на англичан, занявших Филадельфию. И, наконец, третья фигура должна была олицетворять Вашингтона в возрасте 57 лет, который отказался от королевского титула и 30 апреля 1789 г. принял присягу как первый президент нового объединенного государства.

Раньше я изучал кости первых гоминоидов и реконструировал предполагаемый облик наших предков, а работа в должности судебного антрополога при коронере позволила накопить солидный опыт. Однако мне сразу сказали, что прах Вашингтона не будет потревожен, и исследовать его скелет мне не удастся. Как же я мог приступить к воссозданию внешности человека, не имея ни одной его косточки? И все же работа слишком заинтересовала меня, чтобы отказаться от нее.

### Исходные данные

В числе материалов, с которыми мне предстояло работать, была мраморная статуя Вашингтона в полный рост, его бюст и прижизненный слепок лица, выполненные французским придворным скульптором Жаном Антуаном Гудоном (Jean-Antoine Houdon, 1741–1828), который впервые посетил Маунт-Вернон в 1785 г., когда будущему президенту было 53 года. В моем распоряжении было несколько портретов, написанных Гильбертом Стюартом (Gilbert Stuart), Чарльзом Пилом (Charles Wilson Peale) и его сыном, Рембрандтом Пилом (Rembrandt Peale), а также Джоном Трамбаллом (John Trumbull). Не менее ценными свидетельствами стали зубные

определить изгиб челюстной кости. Затем следовало бы оценить, насколько сократилась костная масса челюстей Вашингтона к 53 годам (возможно, наиболее близкое приближение к состоянию в возрасте 57 лет), и постепенно «восполнять» ее, получая модель все более молодого президента.

Как только я понял, что работать придется в трехмерном цифровом пространстве, мне пришла мысль обратиться к Содружеству специалистов по пространственному моделированию (*The Partnership for Research in Spatial Modeling, PRISM*) Аризонского университета. Мне уже доводилось видеть потрясающие результаты сотрудничества скульпторов, антропологов, инженеров и программистов. Я ознакомил с проектом директора лаборатории *PRISM* Аншамана Раздана (Anshuman Razdan), который любезно согласился помочь мне.

Я решил начать со скульптур Гудона, изображающих 53-летнего Вашингтона. Французский скульптор славился своей дотошностью и в работе использовал кронциркули, которыми промерил будущего президента с головы до пят. И хотя студия Гудона и все его записи были уничтожены во время Французской революции, многие эксперты убеж-

## Как же я мог приступить к воссозданию облика человека, не имея ни одной его косточки?

протезы и сохранившиеся предметы туалета пожилого Вашингтона.

Мне нужно было как-то объединить имеющийся материал и придумать, как с ним работать. Например, после трехмерного сканирования прижизненного слепка, бюста и статуи я мог бы сравнить их и проверить, насколько точно они выполнены. Цифровой образ сохранившихся зубных протезов можно было бы «вставить» в компьютерную модель головы, чтобы

дены в физической точности бюста и статуи Вашингтона, который просил скульптора не увеличивать масштаб изваяний вопреки традициям того времени.

Чтобы определить степень точности, коллеги Раздана сняли трехмерные цифровые образы бюста и прижизненного слепка, а затем сравнили их. Сходство оказалось практически идеальным: скульптурные изображения отличались не больше, чем на статистически ▶

незначимые 0,3 мм. Не осталось никаких сомнений в том, что статуя и бюст передают точные черты лица Вашингтона. Но удивительное соответствие прижизненного слепка и лицевой части бюста почему-то беспокоило меня. Согласно документам, сохранившимся в Маунт-Верноне, Гудон сделал бюст за несколько дней до того, как снял прижизненный слепок. Соответственно изображения должны сильнее отличаться, поскольку бюст был сделан не со слепка. И все же глаза, нос, асимметричный подбородок, немного оттопыренные мочки ушей и складки на лбу абсолютно идентичны. В конце концов я пришел к выводу, что Гудон создавал лицевую часть бюста не вручную. Добавив глаза прижизненному слепку (в ходе его изготовления глаза прикрывают), он сделал маску и вдавил ее в еще сырую скульптуру, создав таким образом лицо. Мне пришлось принять на веру, что остальная часть головы Вашингтона тщательно обмерялась кронциркулем.

Когда мы разбирались с результатами цифрового сканирования, я решил поближе познакомиться с портретами Вашингтона и встретился с Эллен Майлз (Ellen G. Miles), хранителем живописи и скульптуры в Смитсоновской национальной портретной галерее. Она сразу предупредила меня, что нужно скептически относиться не только к копиям портретов Вашингтона, но

и к оригиналам. Например, на картине, написанной Стюартом в конце XVIII в., лицо первого президента легко узнаваемо. Вероятно, художник скопировал его с полотна, которое сейчас висит в Бостонском музее изящных искусств. (Зеркальное изображение этого портрета можно найти на долларовой купюре.) Но руки Вашингтона Стюарт явно писал со своих собственных, а тело — с трех моделей, позировавших художнику.

На портрете, написанном Трамбаллом в 1792 г., напротив, более точно изображено тело Вашингтона. Чтобы проиллюстрировать роль восприятия художника, Эллен показала мне портреты, выполненные Пилом и его 17-летним сыном Рембрантом в 1795 г., когда 60-летний президент позировал им одновременно. Отец нарисовал Вашингтона, своего старого друга и соратника, немного пухлым, розовощеким пожилым человеком. Юноша же изобразил морщинистого, усталого старика. Таким образом, у нас есть как минимум четыре совершенно разных портрета шестидесятилетнего Вашингтона.

Если портреты вводили в заблуждение, то зубные протезы внесли еще большую путаницу. Я быстро установил, что, вопреки мифу, Вашингтон не носил деревянных зубных протезов. В XVIII в. пластины протеза, в которых крепились зубы людей или животных, изготавливали

из слоновой кости или клыков гиппопотама. Спустя какое-то время на поверхности пластин образовывались тонкие трещины. За годы еды, питья и курения они становились значительно темнее, чем окружающая эмаль. Очевидно, кто-то по ошибке принял такой протез за деревянный, и родилась забавная легенда.

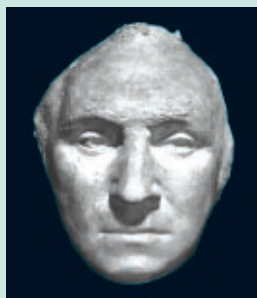
На самом деле, когда Гудон посетил Маунт-Вернон, Вашингтон был уже практически совсем беззубым. Он начал терять зубы в возрасте 20 лет, а к 53 годам у него оставалось только два нижних. Скорее всего первый президент страдал прогрессирующим периодонтальным заболеванием, которое усугублялось его пристрастием к грецким орехам и привычкой их разгрызать. Когда у человека выпадает зуб, кость, в которой он находился, рассасывается, и в этом месте изменяется высота челюсти. Утрата большинства зубов приводит к сильному изменению размеров и формы челюстей (особенно нижней). Поэтому мне предстояло определить состояние челюстей и ротовой полости Вашингтона в возрасте 53 лет, а затем постепенно «добавлять» зубы и костную ткань, восстанавливая облик его челюстей, соответствующий 45-летнему и 19-летнему возрасту.

Сначала мне предстояло разыскать все уцелевшие зубные протезы, которые Вашингтон носил, когда ему было за пятьдесят. Оказалось, что он был похоронен с самым последним зубным протезом. У меня была возможность исследовать нижнюю пластину вставной челюсти, изготовленную дантистом Джозефом Гринвудом (Joseph Greenwood) в 1789 г. и хранящуюся в Нью-Йоркской медицинской академии, а также нижнюю часть протеза, изготовленного тем же врачом в 1795 г. после того, как Вашингтон потерял последний зуб. Верхняя часть исчезла после ограбления хранилищ Смитсоновской галереи. Единственным полным протезом,

### ОБЗОР: ВОТ ОН КАКОЙ, ДЖОРДЖ ВАШИНГТОН

- С помощью компьютерного моделирования американский антрополог воссоздал облик первого президента США. Три фигуры, изображающие Джорджа Вашингтона в возрасте 19, 45 и 57 лет, украсят интерьер нового образовательного центра в Маунт-Верноне.
- Поскольку было решено не тревожить останки первого президента Америки, для воссоздания его внешности использовались статуи, портреты, прижизненный слепок лица, зубные протезы и одежда.
- Специальная компьютерная программа пространственного моделирования позволила объединить и проанализировать имеющиеся свидетельства, воссоздав три достоверных изображения Джорджа Вашингтона.

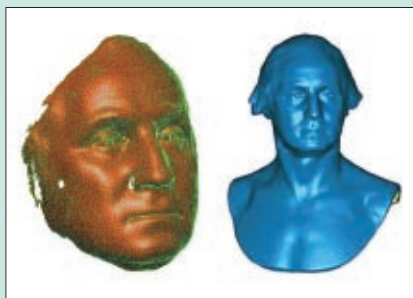
НАЧАЛО РЕКОНСТРУКЦИИ



Прижизненный слепок, 53 года, Гудон



Бюст, 53 года, Гудон



Сканирование прижизненного слепка Сканирование бюста

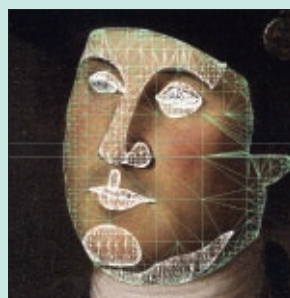


Сравнение

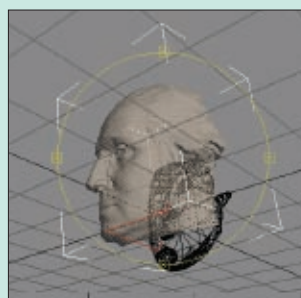
Чтобы убедиться в достоверности прижизненного слепка и бюста, выполненных Жаном Антуаном Гудоном в 1785 г., когда Вашингтону было 53 года, ученые создали и сопоставили их трехмерные цифровые модели. Оказалось, что они различаются не более, чем на 0,3 мм. Желтым цветом обозначены области максимальных различий. Наиболее важные области глаз, носа и рта практически идентичны.



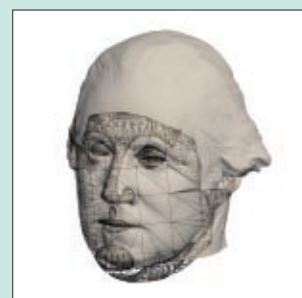
Портрет, 40 лет, Чарльз Пил



Сканирование портрета



Наложение портрета на бюст



Сравнение портрета и бюста

Восстанавливая облик юного Вашингтона, исследователи обратились к самому раннему портрету, написанному Чарльзом Пилом в 1772 г., когда будущему президенту было 40 лет. Сопоставление результатов цифрового сканирования показало, что на картине расстояние от носа до подбородка больше, чем на бюсте. Изменение формы лица, скорее всего, было обусловлено тем, что к 53 годам Джордж Вашингтон потерял большую часть зубов. Проанализировав наблюдаемое различие, ученые осуществили экстраполяцию моделей бюста и прижизненного слепка и воссоздали внешность юного президента.

который я смог обнаружить, была таинственная пара челюстей из коллекции Маунт-Вернона, которая была обнаружена в одном из сундуков супруги Вашингтона Марты. У нее не было вставных зубов, так что они, скорее всего, принадлежали ее мужу. Неизвестно, кто и когда сделал этот протез, но мне удалось выяснить, что он был изготовлен между 1789 и 1795 гг.

Ученые установили, что основанием протеза служила свинцовая пластинка. В качестве верхних зубов использовались передние резцы лошади, осла или коровы, а в качестве нижних — выпавшие человеческие зубы и одна искусственная деталь, возможно, вырезанная из

ореха. К моему удивлению, некоторые зубы на нижней пластине оказались выпавшими верхними зубами человека. Как ни странно, этот протез был совершенно непригоден для ношения. Поверхности свинцовых пластинок были совершенно плоские и не совпадали по форме с беззубой десной. Более того, пружинки, скреплявшие пластины и прижимавшие их к деснам, находились сзади, а не сбоку, и должны были выталкивать протез наружу при открывании рта. Такой протез мог пригодиться только для того, чтобы заполнять ротовую полость Вашингтона, когда он позировал художникам. Однако с его помощью можно было установить примерный

размер и форму челюстей президента. Промерив имеющиеся протезы, я приступил к созданию модели ротовой полости Вашингтона. Позже мне предстояло совместить ее с результатами сканирования прижизненного слепка и бюста, выполненных Гудоном.

**Голова в сборе**

Мэтью Точери (Matthew Tocheri) из PRISM помог мне измерить бюст и узнать ширину нижней челюсти в том месте, где она крепится к основанию черепа. Так получилось, что Бренда Бейкер (Brenda Baker), антрополог из Университета штата Аризона, собрала небольшую коллекцию скелетов британских ▶

PIERPONT MORGAN LIBRARY/ART RESOURCE, NY (life mask); MOUNT VERNON LADIES' ASSOCIATION (bust); WASHINGTON-CUSTIS-LEE COLLECTION, WASHINGTON AND LEE UNIVERSITY (Peele portrait)

солдат, погибших во время войны с французами и индейцами. У одного из них нижняя челюсть была почти такого же размера, что и у Вашингтона. Мы отсканировали ее, и полученный цифровой образ совместили с компьютерной моделью бюста, немного увеличив масштаб, чтобы добиться соответствия. Затем мы «состарили» подбородок, убрав в модели костную ткань и все зубы кроме второго левого премоляра нижней челюсти. Далее мы вставили цифровой образ зубных протезов из Маунт-Вернона в ротовую полость компьютерного Вашингтона и подогнали под них форму нижней челюсти, а также расположение и высоту сохранившегося премоляра. Для окончательной доводки мы использовали цифровую копию нижней части протеза, сделанного Гринвудом в 1789 г., которую наложили на уже имеющуюся трехмерную модель челюсти. Нам также пришлось немного изменить форму подбородка, чтобы сделать его похожим на широкий, скошенный подбородок Вашингтона. Используя программу, которую Джереми Хансен (Jeremy Hansen) из PRISM написал специально для нашего проекта, мы подправили заднюю часть нижней челюсти, чтобы она соответствовала прижизненному слепку, и смоделировали перераспределение

### ОБ АВТОРЕ

**Джеффри Шварц** (Jeffrey H. Schwartz), профессор антропологии, истории и философии науки Питтсбургского университета, член Всемирной академии искусства и науки, сотрудничает с Американским музеем естественной истории и Музеем истории естествознания Карнеги, а также занимает должность судебного антрополога при коронере округа Аллегейни штата Пенсильвания. В сферу научных интересов Шварца входят новые направления эволюционной теории, биология развития видов и сравнительная скелетная морфология.

костной массы, вызванное тридцатью годами постепенной потери зубов. С верхней челюстью пришлось повозиться, поскольку верхняя половина протеза, изготовленного Гринвудом в 1795 г., была украдена. Однако в Национальном зубоорточном музее сохранилась копия этого протеза. Однако в свое время ее тщательно вычистили, чтобы она смотрелась лучше, чем нелицепри-

## Единственным полным зубным протезом, который удалось найти, были таинственные вставные челюсти из Маунт-Вернона

ятный оригинал. К счастью, оригинал и копия однажды были сфотографированы вместе, поэтому мы смогли создать пространственный образ последней и, зная ее размеры, вычислить по фотографии размеры оригинала. Так была получена трехмерная модель верхней половины протеза, под которую мы подогнали оцифрованную верхнюю челюсть солдата с учетом размеров лицевой части бюста.

Реконструкцию внешности Вашингтона в возрасте сорока пяти и девятнадцати лет я начал с изучения портретов, сделанных Чарльзом Пилом, когда будущему президенту было сорок и сорок семь лет. Расстояние от носа до подбородка на этих полотнах было немного больше, чем на полученной нами модели и на более поздних портретах. Дело в том, что передние зубы обычно выпадают позже коренных, за счет чего немного увеличивается высота нижней части лица, еще не утратившей костную массу.

Вместе с Хансеном мы «омолодили» модель пятидесятилетнего президента. Поскольку подбородки на портретах сорока- и сорокасемилетнего Вашингтона более симметричны, чем на прижизненном слепке и более поздних картинах, нам пришлось подправить форму нижней челюсти. Затем мы подогнали размеры челюстей так, чтобы

они соответствовали образу лица с учетом толщины мягких покровов черепа. Поскольку у сорокапятилетнего Вашингтона в нижней челюсти было больше костной массы, чем у пятидесятилетнего, ее задняя часть была лучше очерчена. В модели, соответствующей девятнадцати годам, мы сделали ее еще более заметной. На всем лице я смягчил морщины, удалил складки, увели-

чил жировую прослойку на щеках (с возрастом она теряется) и немного укоротил нос и уши (хрящи в них растут на протяжении всей жизни). Мне также пришлось разгладить кожу под подбородком и на шее. Когда головы были готовы, мы занялись воссозданием тела первого президента.

### Реконструкция тела

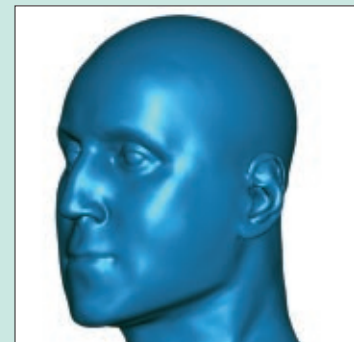
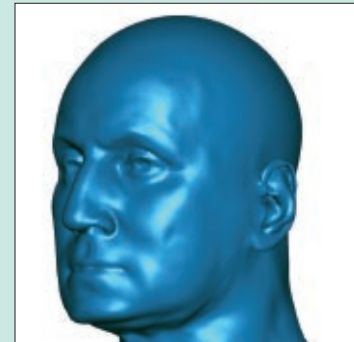
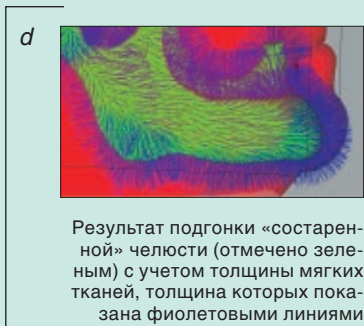
И скульптуры, и портреты Вашингтона изображают человека, несколько отличающегося телосложением от наших современников. По традиции, распространенной среди знатных английских семей в XVIII в., тело юного Джорджа затягивали в корсет вплоть до пятилетнего возраста. В результате он стал похож фигурой на балетного танцора: отведенные назад плечи, грудь колесом, плоская спина, длинные покатые плечи, подчеркнутый изгиб поясницы и выступающий живот. Разумеется, сформировавшаяся в детстве осанка сохранялась до конца жизни. Не удивительно, что знатные англичане, взирающие с портретов XVIII в., так отчетливо отличаются от господ, запечатленных в более поздние столетия.

Вашингтон был необычайно высок для своего времени (его рост составлял 188 см) и имел репутацию хорошего танцора и прекрасного всадника. По свидетельству

## ЗАВЕРШЕНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИЦА

Изучение зубных протезов Вашингтона помогло завершить реконструкцию внешнего вида его головы в 45 и 19 лет. Потеря зуба ведет к утрате костной ткани, что способствует существенному изменению размера и формы челюсти. Установив форму челюсти 53-летнего президента, ученые смогли добавить в модель зубы и костную ткань, рассчитав таким образом, как выглядела челюсть в более молодые годы.

Сначала исследователи сняли цифровой трехмерный образ практически здоровой челюсти (a), которая по размеру соответствовала челюсти Вашингтона, и совместили его с компьютерной моделью бюста. Затем они удалили костную ткань и все зубы, кроме единственного премоляра, оставшегося у Вашингтона к 57 годам (b). В получившуюся модель вставили цифровое изображение протеза верхней челюсти (c) и подобрали объем костной массы, а также длину премоляра. Затем ученые добавили костную массу и окончательно смоделировали челюсть (d), получив нижнюю часть лица 45- и 19-летнего Вашингтона.



MOUNT VERNON LADIES' ASSOCIATION (dentures)

очевидцев, он крепко обхватывал ногами бока лошади и поэтому держался в седле гораздо увереннее многих своих товарищей. Как мне удалось выяснить, дело здесь не только в том, что у первого президента были длинные ноги: в XVIII в. лошади были мельче, чем представители более крупных пород,

выведенных лишь в XIX веке. Судя по портретам, у Вашингтона были довольно широкие бедра, что тоже должно было помогать ему при верховой езде.

Я обратился к смотрителям Маунт-Вернонского музея с просьбой показать мне одеяния первого президента, ведь его современники

придерживались облегающего стиля (особенно плотно одежда сидела на талии, ногах и бедрах). Но к моему сожалению не осталось ни шляп, ни сапог, ни даже перчаток Вашингтона — ничего, что помогло бы установить размер и форму головы, рук или ног. И все же мне удалось разыскать в различных ▶

## ВОССОЗДАНИЕ ТЕЛА

В 19 лет будущий отец Америки был высоким, мускулистым и худощавым. На экспозиции в Маунт-Верноне фигура юноши будет одета в костюм, который обычно носили землемеры того времени. Темно-рыжие волосы будут собраны сзади в «конский хвост»



Рост Вашингтона (188 см) наиболее точно передает статуя, сделанная Гудоном в 1785 г. (слева). На портреты полагаться нельзя: наиболее известное изображение Вашингтона работы Стюарта (справа) частично срисовано с других моделей



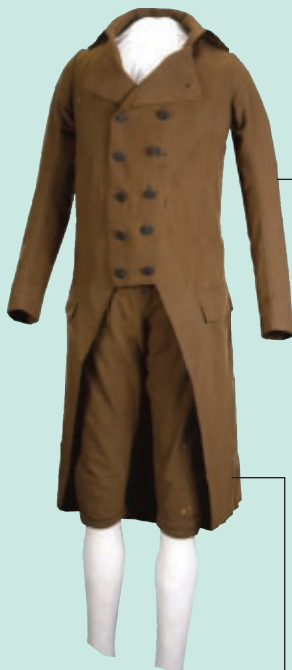
Для соединения головы с телом пришлось «сшить» края двух пространственных моделей, состоявшие из множества маленьких треугольников



45 лет (верхом на лошади)

57 лет

До пяти лет тело юного Вашингтона затягивали в корсет, чтобы сформировать благородную фигуру с отведенными назад плечами и выступающей грудной клеткой.



Судя по одежде из коллекции Маунт-Вернона, Вашингтон был несколько полнее, чем изобразил скульптор



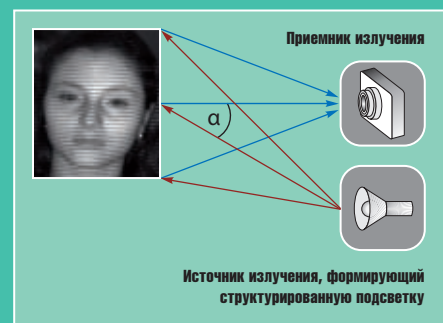
Картина Трамбалла 1797 г. свидетельствует о том, что у Вашингтона были длинные ноги, которыми он крепко обхватывал бока лошади (Вашингтон на темном коне справа)



19 лет

## ПОЧУВСТВУЙ СЕБЯ В ОБЪЕМЕ

Ученые одной из лабораторий МГТУ им. Баумана создали прибор, позволяющий почти мгновенно зарегистрировать трехмерный образ лица человека и через 2–3 секунды получить готовую трехмерную модель с точностью до 1 мм. Для удобства восприятия на модель «натягивается» текстура, снятая обычной фотокамерой. Схема прибора показана на рисунке.



На лицо человека направляется специальная структурированная подсветка. Фотокамера, оптическая ось которой сдвинута относительно визирной оси излучателя, регистрирует изгиб полос на лице, в котором и заключается информация о форме объекта. Затем с помощью специальных алгоритмов производится синтез трехмерной поверхности лица человека. Ее можно повернуть, покрутить, посмотреть на себя в профиль.



Технология успешно применяется в биометрических системах контроля доступа, системах технического зрения мобильных роботов, в мультимедиа-приложениях. Основные преимущества: абсолютная безопасность для человека, не требует неподвижности объекта, бесконтактность метода, независимость от освещения, цвета кожи, макияжа, высокая скорость и точность восстановления трехмерной поверхности. Технология открывает новые возможности для создания трехмерных систем будущего.



ООО «Лаборатория трехмерного зрения»  
Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 24,  
Тел.: +7 (495) 194-0413  
E-mail: info@3detection.ru  
www.3detection.ru

музеях кое-что из его одежды. Я тщательно снял мерки со всех имеющихся предметов туалета и примерил их к статуе, которая была сделана Гудоном и установлена в здании конгресса в Ричмонде, штат Вирджиния. Дело в том, что это изваяние изображает довольно худого человека, что не согласуется с описаниями и портретами. Вместе с Джинном Купером (Gene Cooper) и Скоттом ван Ноутом (Scott Van Note) из PRISM мы сопоставили длину рук и ног, а также ширину плеч статуи с размерами оказавшейся в нашем распоряжении одежды. Выполнив пространственное сканирование скульптуры, мы подкорректировали масштаб полученной трехмерной модели, чтобы она соответствовала размеру одежды. Затем я воссоздал форму тела 19-, 45- и 57-летнего Вашингтона, руководствуясь общими знаниями о том, как с возрастом меняется тело человека.

Согласно историческим документам в последние годы жизни президент часто болел и сильно исхудал. Об этом свидетельствует и размер его одежды. К воссозданию фигуры 45-летнего Вашингтона нужно было подойти по-иному. Портреты, выполненные Пилом-старшим, когда Джорджу было 40 и 47 лет, показывают, что генерал был более полным в области живота и бедер. Вероятно, в те годы зубные боли стали настолько сильными, что Вашингтону пришлось перейти на более мягкие продукты, содержащие больше жиров. (Во время сражения под Трентоном в 1776 г. Вашингтон так страдал от зубной боли, что личный врач полковника заказал кузнецу набор клещей, чтобы удалять больные зубы.) Итак, фигуру, соответствующую 45 годам, я решил сделать более полной, особенно в области живота и бедер. В 19 лет Вашингтон целыми днями переносил топографическое оборудование с места на место и, скорее всего, был тощим и жилистым. Наконец, мы дополнили пространственные

модели тел цифровыми образами голов, по которым калифорнийская компания *Kreysler and Associates* изготовила пенопластовые макеты. Они пересекли всю страну и оказались в нью-йоркской студии *EIS*, где их глиняные копии были приделаны к телам из плотного пенопласта, покрытого защитным слоем и фрагментами искусственных мягких тканей, имитирующих упругость настоящего тела. Вместе со скульптором Стюартом Вильямсоном (Stuart Williamson), консультантом студии *EIS*, мы придали глиняным лицам первого президента неповторимое выражение. Художница Сью Дей (Sue Day) раскрасила их восковые копии, сделав их очень реалистичными: бледный подбородок, румяные щеки и серовато-голубые глаза, описанные Гильбертом Стюартом. На первые две фигуры Вашингтона мы надели рыжие парики с собранными сзади волосами. Волосы 57-летнего Вашингтона мы сделали белыми, т.к. в день инаугурации они были напудрены.

Я надеюсь, что благодаря нашей работе образ первого президента США перестанет ассоциироваться с черно-белой плоской фигурой на долларовой бумажке. ■

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- George and Martha Washington: Portraits from the Presidential Years. Ellen G. Miles. Smithsonian Institution, National Portrait Gallery, 1999. Exhibition Web site: [www.npg.si.edu/exh/gw/](http://www.npg.si.edu/exh/gw/)
- His Excellency: George Washington. Joseph J. Ellis. Vintage, 2005.
- 1776. David McCullough. Simon & Schuster, 2005.
- Skeleton Keys: An Introduction to Human Skeletal Morphology, Development, and Analysis. Second revised edition. Jeffrey H. Schwartz. Oxford University Press (in press).
- Сайт Маунт-Вернонского музея: [www.mountvernon.org](http://www.mountvernon.org)

Александр Глезер и Франк фон Хиппел

# ПРОТИВОСТОЯТЬ ЯДЕРНОМУ ТЕРРОРИЗМУ

Свечение воды, охлаждающей активную зону атомного реактора, свидетельствует о том, что он загружен топливом и находится в рабочем состоянии. Часто меры безопасности на гражданских ядерных предприятиях бывают недостаточными, и террористы могут проникнуть на опасные объекты



## Высокообогащенный уран из научно-исследовательских атомных реакторов может стать легкой добычей террористов, стремящихся создать атомную бомбу

**А**томная бомба «Малыш» мощностью 15 килотонн в тротиловом эквиваленте, сброшенная на Хиросиму, содержала 60 кг высокообогащенного урана. В ней использовался относительно простой детонатор, соединивший две порции урана, общая масса которых превышала критическую. Бомба, сброшенная двумя днями позже на Нагасаки, была начинена плутонием, а для ее активации потребовался более сложный механизм. За последние 60 лет было создано более 100 тыс. единиц ядерного оружия.

Сегодня появилась новая угроза. Международные террористические организации, в число которых входит «Аль-Каида», получив в свое распоряжение высокообогащенный уран (ВОУ) с содержанием урана-235 более 20%, могут создать атомную бомбу и использовать ее против мирных жителей.

Первые атомные бомбы были тривиальными, и создатели «Малыша» даже не проводили предварительных испытаний: не было никаких сомнений в том, что при срабатывании детонатора произойдет атомный взрыв. Сегодня террористы без особого труда могут проникнуть на объект, где хранится высокообогащенный уран. Несмотря на то, что ВОУ производится и на частных предприятиях, этот рынок жестко контролируется международным сообществом. За годы холодной войны США и Советский Союз произвели

1800 т ВОУ, который потреблялся гражданским и военными структурами. На объектах, использующих уран для проведения научных исследований, уровень безопасности не столь высок, как на военных объектах.

На атомных электростанциях используется уран, содержащий от 3% до 5% изотопа с атомной массой 235. В технологическом цикле 140 гражданских реакторов задействовано более 50 т ВОУ для проведения научных экспериментов и получения различных изотопов. Как правило, такие реакторы находятся в индустриальных районах, а степень их защиты не всегда достаточно высока. Российские реакторы составляют треть всех работающих на планете, а количество ВОУ, используемого для их работы, составляет более половины всех мировых запасов.

В долгосрочной перспективе для борьбы с террористической угрозой необходимо сократить объемы потребления ВОУ и ликвидировать его запасы. Опасный изотоп целесообразно разбавлять ураном-238 до концентрации, не превышающей 20%, чтобы получался низкообогащенный материал, непригодный для создания атомной бомбы.

Большое скопление высокообогащенного урана на гражданских объектах произошло в результате проводившейся США и СССР в 50-х и 60-х гг. XX в. политики под названием «Атом для мира». Тогда две сверхдержавы создали на своих территориях сотни научно-исследовательских реакторов. Кроме того, атомные технологии были переданы другим государствам, а в обмен получена политическая поддержка. Под давлением ряда правительств, настаивавших на поставках высокообогащенного ядерного топлива, сверхдержавы пошли на частичную отмену ограничений на экспортные поставки ВОУ. В результате в странах третьего мира оказался уран с концентрацией изотопа-235 до 90%. К 2005 г. в государствах, не

имеющих собственного ядерного оружия, накопилось 10 т урана. Этого хватило бы на 150–200 бомб.

### Реактор-преобразователь

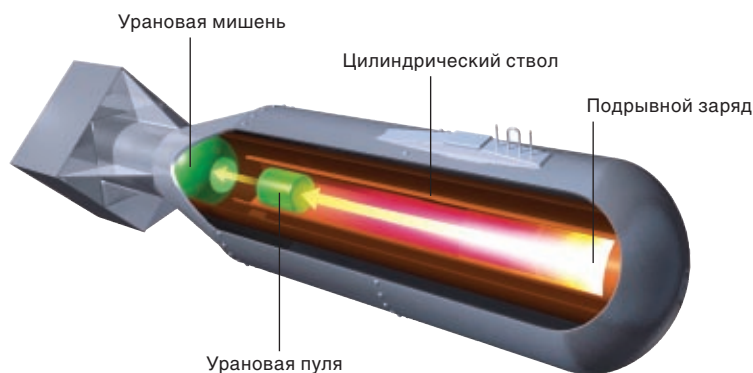
В 70-х гг. прошлого века американское правительство начало принимать меры по недопущению использования топлива из научно-исследовательских реакторов для производства ядерного оружия. В 1978 г. министерство энергетики США разработало программу «Низкое обогащение для научных и опытных реакторов», в рамках которой было намечено перевести созданные в Америке реакторы на работу с ураном низкого обогащения. К 2005 г. была произведена реконструкция 41 объекта, расположенного в различных странах мира. Во время реализации программы из США экспортировалось ежегодно более 250 т ВОУ.

Администрация США намерена провести модернизацию еще 42 научных ядерных центров. Возникли сложности с десятью реакторами, поскольку существующие топливные элементы с ураном низкого обогащения не могут быть использованы на этих объектах. Ежегодно на них потребляется 400 кг ВОУ для создания нейтронного потока большой мощности при проведении научных экспериментов. Следует признать, что замещение ВОУ ураном низкого обогащения не всегда адекватно влияет на работу реактора.

Чтобы минимизировать изменения в конструкции реакторов на новом топливе, ученые и инженеры, участвующие в проекте, должны создать топливные элементы, геометрия и ресурс которых будут соответствовать твэлам с высокообогащенным ураном. Это сложная инженерная задача, т.к. на каждый атом урана-235 в топливном элементе с низкообогащенным материалом приходится по четыре атома урана-238. Разработка топливных элементов нового поколения продолжается. ▶

## ПРОЕКТ БОМБЫ

Если в руки террористам попадет 60 кг высокообогащенного урана, то они смогут изготовить взрывное устройство, подобное атомной бомбе «Малыш», сровнявшей с землей Хиросиму. Две докритичные массы урана помещаются в металлический цилиндр. Условно один объем урана можно назвать не мишенью, а второй пулей, т.к. подрывной заряд при срабатывании толкает ее вдоль цилиндра. В момент соединения этих двух объемов образуется критическая масса урана и начинается цепная реакция.



## Переработка ВОУ

В 1990-х гг. США и Россия начали сотрудничать в области обеспечения безопасности и переработки запасов ядерного топлива. Этому предшествовали факты хищения высокообогащенного урана в России и в странах бывшего СССР. Об этих происшествиях сообщалось только в том случае, если материал возвращали. К сожалению, точных сведений, о количестве похищенного урана нет.

Для того чтобы ограничить незаконный оборот урана, администрация США в 1999 г. разработала

программу по переработке 17 т ВОУ из российских ядерных научных центров; к 2005 г. было переработано около 7 т топлива.

Еще одним направлением работы стало обеспечение безопасности отработанного ядерного топлива. Несмотря на то, что в активной зоне реактора распадается половина урана-235, его концентрация в использованных элементах все же составляет 80% — более чем достаточно, чтобы сделать бомбу, разрушившую Хиросиму.

На протяжении нескольких лет с момента извлечения из реактора

топливные элементы имеют очень высокий уровень излучения. Любой злоумышленник, решившийся украсть такой материал, погибнет через час от высокой дозы облучения. Для работы в подобных условиях требуются специальные манипуляторы и эффективные средства защиты от облучения. Со временем уровень радиоактивного излучения уменьшается, а через 25 лет рабочий сможет находиться на расстоянии 1 м от топливного элемента из научно-исследовательского реактора около 5 часов. При этом его доза составит половину от смертельно опасной. По мнению экспертов, на этом этапе топливо перестает защищать само себя.

## Надо поторопиться

Чтобы воспрепятствовать незаконному обороту отработанного ядерного топлива с высоким содержанием урана, в 1996 г. правительство США предложило своим партнерам, получившим ранее от Америки топливо для атомных реакторов, вернуть отработавшие свой ресурс ядерные элементы. Семью годами позже усилиями России, США и МАГАТЭ проводилась работа по возвращению высокообогащенного урана в Россию из тех стран, в которые ранее осуществлялись поставки. Результат работы оказался весьма скромным. Из 11 т высокообогащенного урана, доставленного США своим партнерам, назад вернулась только 1 т. В Россию попало 100 кг ВОУ из поставленных 2 т. Отработанное в научно-исследовательских реакторах топливо, возвращенное в США, размещается в хранилищах штатов Южная Каролина и Айдахо. В России ведется переработка отработанного топлива, выделение ВОУ и дальнейшее его использование в новых топливных элементах.

После террористического акта 11 сентября 2001 г. ряд неправительственных организаций и членов конгресса США подняли вопрос об усилении мер безопасности на

## ОБЗОР: ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ

- Сотни килограммов высокообогащенного урана могут стать легкой добычей для террористов.
- Большие запасы урана сосредоточены в гражданских научно-исследовательских ядерных центрах по всему миру, в том числе и в России.
- США и их союзники разработали программу по усилению мер безопасности при работе с ядерными материалами. Одним из направлений стал перевод научно-исследовательских реакторов на работу с низкообогащенным ураном и возвращение отработанных топливных элементов с ВОУ в производившие их страны.
- Необходимо привлечь внимание правительств и увеличить объемы финансирования программы по переводу реакторов на работу с ураном низкого обогащения.

## ЧТО ПОТРЕБУЕТСЯ ТЕРРОРИСТАМ

Чтобы создать атомную бомбу, террористам нужно купить или украсть высокообогащенный уран. Природный уран на 99,03% состоит из изотопа с атомной массой 238 и лишь 0,07% приходится на изотоп с атомной массой 235, который пригоден для использования в реакторах на тепловых нейтронах. Разница в весе таких изотопов составляет не более 1%, но и этого достаточно для их разделения и получения обогащенного урана с большим содержанием урана-235. Поскольку технология сложна и требует больших временных и материальных затрат, террористы вряд ли смогут получить уран таким способом.

При массе высокообогащенного урана ниже критической из двух или трех свободных нейтронов только один продолжает процесс деления атомов, остальные выходят за пределы массы делящегося материала. Для поддержания цепной реакции деления урана и создания атомной бомбы необходимо иметь критическую массу ВОУ, в которой один нейтрон, попавший в атом урана, создаст не менее двух свободных нейтронов. Именно такой процесс произошел в бомбе, сброшенной на Хиросиму.

Для создания бомбы, подобной той, что разрушила Нагасаки, необходима масса даже меньше критической. В данном ядерном взрывном устройстве критическая масса плутония создавалась за счет его сжатия при помощи направленного взрыва.

Оружейный уран более чем на 90% состоит из урана-235, однако, по мнению специалистов Международного агентства по атомной энергетике (МАГАТЭ), ядерный материал, в котором концентрация урана-235 превышает 20%, пригоден для создания атомного оружия. Для изготовления бомбы с отражателем из бериллия толщиной 5 см требуется 22 кг ВОУ, состоящего из урана-235 на 93%, или 400 кг ВОУ, состоящего из урана-235 на 20%.



Обычный на первый взгляд металлический диск содержит ничтожное количество урана, пригодного для создания атомной бомбы. Десятки тысяч таких элементов используется в некоторых ядерных центрах. Конечно, для создания бомбы требуется большое количество таких контейнеров, но никто не застрахован от краж.

объектах, где хранился высокообогащенный уран. Бывший сотрудник Лос-Аламосской национальной лаборатории Теодор Тэйлор (Theodore Taylor) еще в начале 70-х гг. прошлого века предупреждал об опасности террористических актов с использованием ядерных материалов, и только события 11 сентября заставили прислушаться к его голосу. В итоге была создана Организация глобальной безопасности, задачей которой стало возвращение в Россию радиоактивных материалов к 2006 г. и ВОУ к 2010 г. В США к 2019 г. должны вернуться все элементы, содержащие ВОУ. По плану также предусматривалось перевести все американские научно-исследовательские реакторы на работу с низкообогащенным ураном.

По отдельным направлениям программа сокращения объемов потребления ВОУ развивается. По сравнению с предыдущим годом ее бюджет в 2005 г. вырос на 25% (до \$79 млн.), но все равно не дотягивает до объ-

емов финансирования программы ПРО. Во время встречи Джорджа Буша с Владимиром Путиным, проходившей в феврале 2005 г., была достигнута договоренность о минимизации объемов использования ВОУ в странах третьего мира.

Следует признать, что ряд международных программ по сокращению использования ВОУ находятся на стадии реализации и в России. Их инициаторами становятся иностранные компании, которые напрямую договариваются с российскими ядерными центрами, а те получают от правительства необходимые разрешения. Таким образом ядерные центры получают финансирование от иностранных партнеров, за счет чего и реализуют свои проекты.

### Забывшие запасы ВОУ

Основные усилия по сокращению объемов использования ВОУ сосредоточены на научных реакторах, требующих постоянной переза-

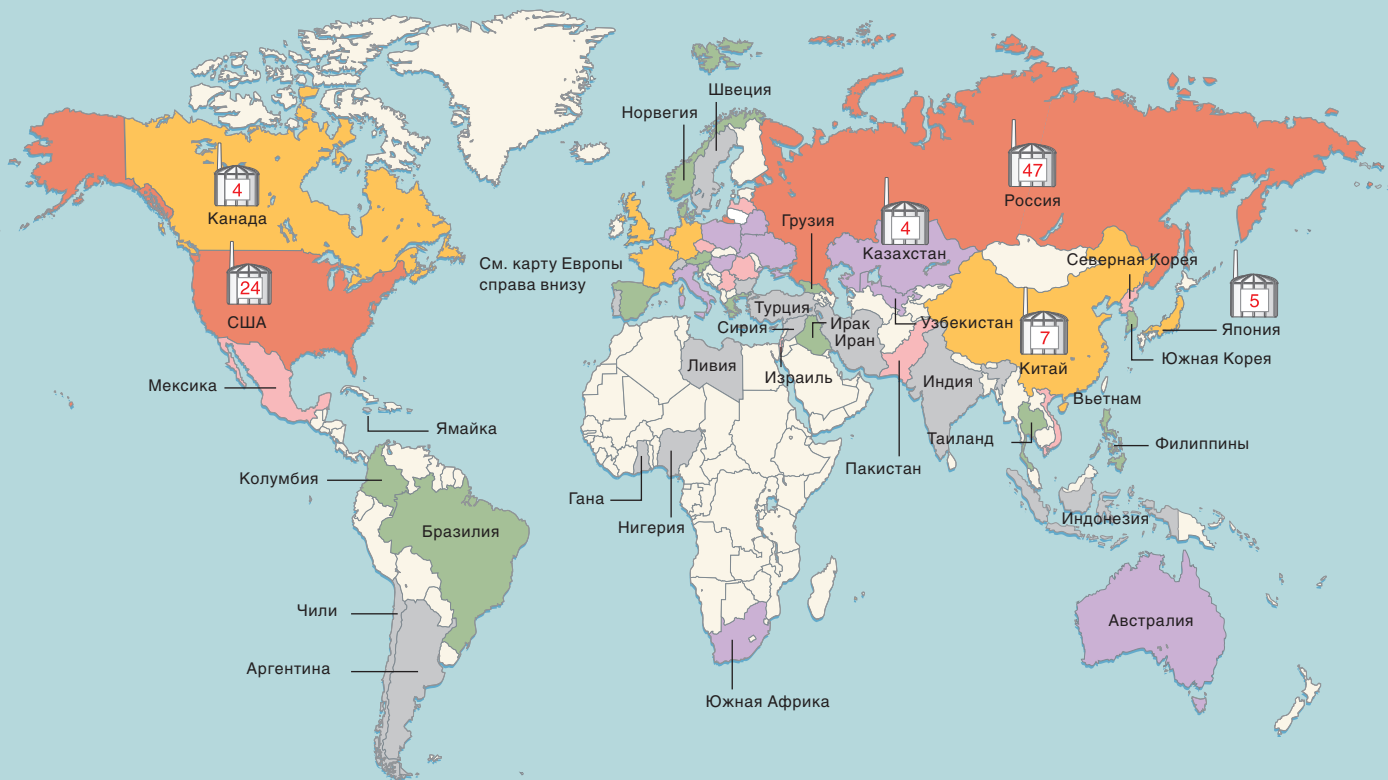
рядки топлива. В эту категорию не попадают критические сборки и импульсные реакторы, в которых сконцентрировано огромное количество очень опасного материала.

Критическая сборка представляет собой макет элементов активной зоны реактора и используется для экспериментов при разработке ▶

### ОБ АВТОРАХ

**Александр Глезер** (Alexander Glaser) и **Франк фон Хиппел** (Frank N. von Hippel) участвуют в программе Принстонского университета «Наука и глобальная безопасность». Глезер занимается вопросами перевода научно-исследовательских реакторов на работу с низкообогащенным ураном в Дармштадтском университете. Физик-ядерщик фон Хиппел работал в Белом доме в 1993–1994 гг. Он принимал активное участие в программе по обеспечению мер безопасности при обращении с ядерными материалами в странах бывшего СССР.

ЗОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ



В научно-исследовательских реакторах 140 стран используется более 50 т высокообогащенного урана. Угроза похищения урана с таких объектов, зачастую плохо охраняемых, вызывает озабоченность со стороны мирового сообщества.

Страны, имеющие высокообогащенный уран (ВОУ) на гражданских объектах

Более 10 тыс. кг

1–10 тыс. кг

100–1000 кг

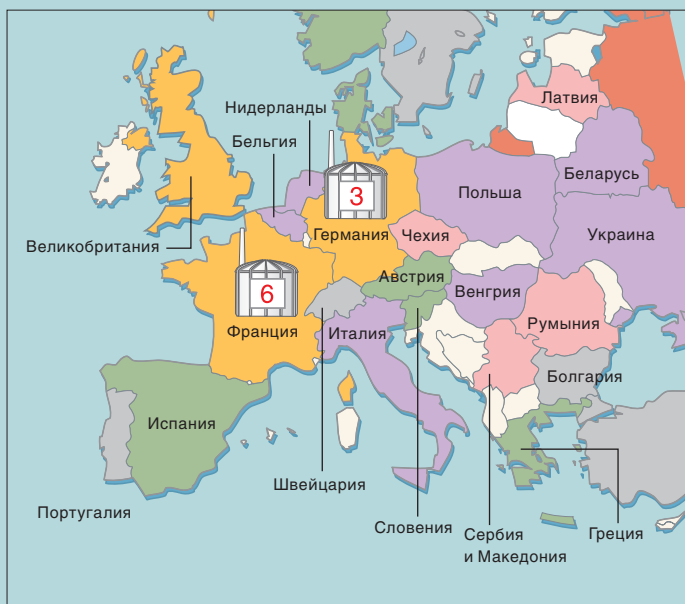
10–100 кг

1–10 кг

Менее 1 кг (очищено от ВОУ)

Никогда не располагали запасами ВОУ

Научно-исследовательские реакторы, использующие ВОУ (основные 8 стран, предполагаемое количество)



LUCY READING-IKKANDA

## ОСТАНОВИТЬ ХИЩЕНИЕ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Целесообразно усилить меры безопасности в гражданских научно-исследовательских ядерных центрах, чтобы террористы не смогли завладеть высокообогащенным ураном. Сотрудничество экспертов США и России по вопросам ядерной безопасности позволило определить основные направления реализации этой программы.

По оценкам специалистов МАГАТЭ, для создания атомной бомбы достаточно 25 кг урана, поэтому еще в 1992 г. заговорили о необходимости усилить меры безопасности. Сотрудник научно-исследовательского ядерного центра, расположенного недалеко от Москвы, в течение нескольких месяцев смог похитить 1,5 кг высокообогащенного урана. Преступник был задержан, прежде чем опасный материал попал террористам в руки. Этот случай свидетельствует об ослаблении мер безопасности при хранении ядерных материалов. Распад Советского Союза в 1991 г. создал внутреннюю и внешнюю угрозу ядерному комплексу. Персоналу научно-исследовательских ядерных центров месяцами не выплачивалась заработная плата, что создавало потенциальную предпосылку для кражи радиоактивных материалов. Руководители России, США и других стран осознали опасность и совместными усилиями минимизировали риски.

В 1993 г. вступила в действие программа под названием «Защита, контроль и учет» в рамках которой министерство энергетики США сотрудничало с ядерными центрами Российской Федерации. Американские специалисты давали рекомендации своим российским коллегам по мерам безопасности при обращении и хранении ядерных материалов на гражданских и военных объектах.

В отдельных случаях были приняты ограниченные меры, такие как замена старых дверей и замков на более надежные. В дальнейшем объекты могут быть оборудованы скрытыми камерами внутреннего наблюдения. К непосредственной работе с радиоактивными материалами должны допускаться не менее двух сотрудников. Для доступа на объекты персонал использует электронные карточки, пароли и проходит через процедуру биометрического контроля. Более сложной



Меры безопасности, предпринятые в бывших советских научно-исследовательских институтах, где хранятся атомные реакторы, не полностью обеспечивают сохранность высокообогащенного урана. Сотрудничество российских и американских специалистов способствует улучшению ситуации. Инспекция объектов показала, что в отдельных случаях ограждения, ворота и другие системы безопасности находятся в плачевном состоянии (*внизу*). После того как была проведена реконструкция сооружений, вокруг ядерных объектов была создана полоса безопасности (*вверху*).

является электронная система контроля, позволяющая по уровню гамма-излучения фиксировать уровень радиоактивности материалов внутри контейнера. Такое комплексное решение позволяет фиксировать весь цикл работы с радиоактивными материалами и заносить их в электронную базу данных.

Тринадцать лет сотрудничества России и США дали положительные результаты. Из 51 объекта хранения и использования ядерных материалов, расположенных в России и странах бывшего СССР, на 41 модернизирована система безопасности. В их число вошли оружейные комплексы, гражданские учреждения, базы военно-морского флота. Только два российских объекта в силу их большой значимости для России, были исключены из программы. Скоро в странах бывшего СССР хранилища боеголовок и пусковые шахты ядерных ракет будут оснащены дополнительными системами безопасности.

В ближайшие годы финансирование международной программы будет сокращаться. Несмотря на то, что российское правительство предпринимает самостоятельные шаги, при отсутствии международного сотрудничества они недостаточны. Проведенная работа очень важна для укрепления безопасности Америки, т.к. потеря контроля над ядерными материалами грозит страшной катастрофой.

**Лесли Фишбон**

**Лесли Фишбон** работает в Брукхейвенской национальной лаборатории и на протяжении 10 лет принимал участие в программе MPC&A.



новых ядерных систем. Поскольку мощность сборок не превышает 100 Вт, то для них не требуется система охлаждения.

В 1994 г. в качестве сотрудника администрации США фон Хиппел посетил Российский научный центр «Курчатовский институт» и впервые увидел критические сборки. В плохо защищенном помещении находилось 70 кг урана, пригодного для создания атомного оружия. Эти сборки с ураном-235 предназначались для создания макета орбитального реактора. После этого визита США впервые приняли участие в программе по усилению мер безопасности на ядерных объектах в России. В последнее время между руководством администрации Курчатовского института и специалистами министерства энергетики США ведутся переговоры по вопросу сокращения объемов потребления высокообогащенного урана.

Большое количество ВОУ хранится и в другой российской лаборатории, где находится несколько тонн урана, упакованного в десятки тысяч капсул с покрытием из алюминия и нержавеющей стали. При проведении научно-исследовательских работ эти капсулы используются для моделирования физических процессов. Т.к. уровень радиационного излучения одной капсулы не велик, то их можно брать руками. Существует опасность несанкционированного выноса радиоактивных элементов с территории этого института.

Еще одним техническим устройством, использующим ВОУ, является импульсный реактор. Он применяется для создания мощных нейтронных импульсов длительностью до нескольких миллисекунд. В военных лабораториях исследуют воздействие нейтронного потока на оборудование и материалы с использованием импульсного реактора. В одном из институтов, находящимся недалеко от Москвы,

есть импульсный реактор, для работы которого используется 0,8 т ВОУ. Такого количества урана достаточно для того, чтобы изготовить 15 атомных бомб, равных по мощности той, которая была сброшена на Хиросиму. После встречи с американскими коллегами руководители института предложили разработать проект по переводу реактора на работу с низкообогащенным ураном.

Сегодня в мире насчитывается более 70 объектов, на которых используются критические сборки и импульсные реакторы. Более половины из них находятся на территории России. Благодаря методам математического моделирования можно с высокой степенью точности рассчитать физические процессы в активной зоне реактора в трехмерном пространстве. Для проверки расчетов можно использовать экспериментальные данные, полученные в предыдущие годы. Тем не менее, какое-то количество ядерных устройств с ВОУ необходимо для проведения дальнейших ядерных исследований. Некоторые специалисты считают, что более 85% научно-исследовательских ядерных центров могут быть закрыты. В качестве альтернативы предлагается создать современные региональные научно-исследовательские центры. Европейские страны, Япония и США могли бы выступить инициаторами этого процесса. А институты, располагающие запасами ВОУ, могут получить до \$20 млн. за каждую тонну урана, который будет переработан в топливо для атомных электростанций.

### Как решить проблему

Работы по сокращению объемов использования ВОУ принесли положительные результаты уже в четверти научных ядерных центров. Однако отсутствие поддержки программы правительством и противодействие со стороны отдельных руководителей ядерных центров мешают развitiю процесса.

Несмотря на опасность применения террористами ядерных материалов, программа по выводу из эксплуатации объектов, использующих ВОУ, идет медленно. Правительствам следует увеличить объемы финансирования тех ядерных научных центров, где есть возможность перевести реакторы на работу с низкообогащенным ураном. Далее целесообразно продолжить процесс вывода ВОУ из гражданского оборота, включая российский атомный ледокольный флот.

Если США и союзники предпримут серьезные меры по борьбе с ядерным терроризмом, то можно надеяться, что через 5–8 лет ВОУ не будет использоваться на гражданских объектах. Откладывать решение проблемы нельзя, поскольку вероятность использования ядерных материалов террористами достаточно высока. ■

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Controlling Nuclear Warheads and Materials. Matthew Bunn, Anthony Wier and John P. Holdren.

■ Nuclear Threat Initiative and the Project on Managing the Atom, Harvard University, March 2003.

Available at [www.nti.org/e-research/cnwm/overview/cnwm-home.asp](http://www.nti.org/e-research/cnwm/overview/cnwm-home.asp)

■ A Comprehensive Approach to Elimination of Highly-Enriched-Uranium from All Nuclear- Reactor Fuel Cycles. Frank von Hippel in Science and Global Security, Vol. 12, No. 3, pages 137–164; 2004. Available at [www.princeton.edu/~globs-ec/publications/pdf/von-Hippel-SGS-137-164-1.pdf](http://www.princeton.edu/~globs-ec/publications/pdf/von-Hippel-SGS-137-164-1.pdf)

■ The Four Faces of Nuclear Terrorism. Charles D. Ferguson and William C. Potter. Routledge (Taylor and Francis), 2005.

■ Last Best Chance. Docudrama produced by the Nuclear Threat Initiative on the danger of nuclear terrorism, 2005. Free DVDs can be ordered at [www.lastbest-chance.org/](http://www.lastbest-chance.org/)

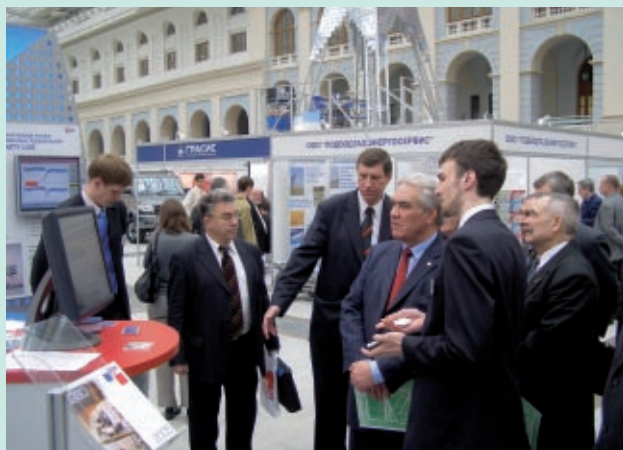
# MOGIF 2006

## «ГЛОБАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»: ИТОГИ

В выставочном зале «Гостиный Двор» 18 апреля 2006 г. состоялось торжественное открытие Международной нефтегазоэнергетической выставки *MOGIF 2006* «Глобальная энергетическая безопасность».

В церемонии открытия участвовали президент Международной топливно-энергетической ассоциации (МТЭА) Грант Джаванширович Маргулов, президент Российского союза нефтегазопромышленников Геннадий Иосифович Шмаль, начальник управления НТР ОАО «РИТЭК» Владилен Аршакович Галустянц, доктор технических наук, зам. генерального директора Института энергетической стратегии Минпромэнерго России Павел Павлович Безруких, а также представители нефтегазоэнергетических компаний, СМИ и зарубежные гости.

Выставка сопровождалась деловой программой, включавшей презентацию участников выставки и международную конференцию «Глобальная энергетическая безопасность: Общество — Бизнес — Наука — Промышленность — Власть», которая была приурочена к XV Юбилейному съезду Международной топливно-энергетической ассоциации (МТЭА). В работе конференции участвовали около 300 представителей ведущих нефтегазоэнергетических компаний, некоммерческих организаций, государственных структур, исследователей и специалистов, а также представители многих зарубежных компаний из стран СНГ и дальнего зарубежья. На конференции выступили председатель Совета при Президенте Российской Федерации по содействию развитию институтов гражданского общества и правам человека Элла Александровна Памфилова, президент Международной топливно-энергетической Ассоциации (МТЭА) Грант Джаванширович Маргулов, депутат Госдумы РФ, заместитель председателя комитета Госдумы РФ по природным ресурсам и природопользованию Василий Михайлович Тарасюк, академик РАН, директор Института проблем нефти и газа РАН и Минобрнауки России, член правления МТЭА Анатолий Николаевич Дмитриевский, доктор технических наук, генеральный директор Института энергетической стратегии Минпромэнерго России, член Правления МТЭА Виталий Васильевич Бушуев и другие представители промышленных компаний и зарубежных фирм (из российских предприятий, в частности, «Стройтрансгаз», ТНК-ВР, РИТЭК, «Трубная металлургическая компания»,



НПО «Сатурн», «Газпромтранс», ЭЛЕСИ, «ЧТПЗ-комплексные трубные системы», а также 24 иностранных компании из 9 стран).

На конференции состоялось награждение лауреатов общественной премии МТЭА имени Н.К. Байбакова. За разработки новых энергетических технологий, значительный вклад в развитие топливно-энергетического комплекса России лауреатами премии стали президент Российского и Международного союза товаропроизводителей (работодателей) Николай Иванович Рыжков, президент Международного союза металлургов Серафим Васильевич Колпаков, заместитель председателя правления ОАО «ГАЗПРОМ» Александр Георгиевич Ананенков, генеральный директор ОАО «Сургутнефтегаз» Владимир Леонидович Богданов.

21 апреля 2006 г. состоялось торжественное закрытие выставки. Участники были награждены почетными дипломами. На церемонии награждения выступил заместитель председателя Комитета Госдумы РФ по природным ресурсам и природопользованию Василий Михайлович Тарасюк.

### ОБ АВТОРАХ

**С.М. Курбатов** — руководитель рабочей группы по подготовке выставки *MOGIF 2006* «Глобальная энергетическая безопасность», вице-президент Союза работодателей машиностроения Российской Федерации.

**В.В. Комаров** — директор выставки и конференции *MOGIF 2006*, член правления МТЭА.



# Игры РАЗУМА

По материалам беседы  
с Константином Анохиным



Разум возник  
в процессе  
эволюции как  
инструмент  
адаптации  
организмов  
к меняющейся  
непредсказуемой  
среде, как умение  
выбирать цели,  
оптимальный  
образ действий,  
способность  
к обучению  
и формированию  
представлений

**И**сследователи, начавшие заниматься проблемой искусственного интеллекта, были оптимистами. Им казалось, что недалек тот час, когда будет сконструирована умная машина, которая не только научится играть в крестики-нолики или шахматы, но и сможет мыслить как человек. Однако с тех пор прошло почти полвека, а мы по-прежнему далеки от этой цели. Но ученые не оставили попыток создать искусственный разум.

Чем концепция старого доброго искусственного интеллекта отличается от современных разработок? Чем искусственный интеллект отличается от естественного? Как создаются и эволюционируют искусственные организмы? Как научить виртуальное существо адаптироваться к внешним обстоятельствам? Что дает исследователям изучение сложных систем на разных уровнях организации? Как организовано мышление человека? Может ли модель суперсознания зародиться в Интернете?

Ответы на эти и ряд других вопросов узнали телезрители программы «Очевидное-невероятное» из беседы профессора Сергея Петровича Капицы с доктором медицинских наук, профессором, членом-корреспондентом РАН, руководителем отдела системогенеза Института нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАН Константином Владимировичем Анохиным. Но кое-что осталось за кадром.

### Старый добрый искусственный интеллект

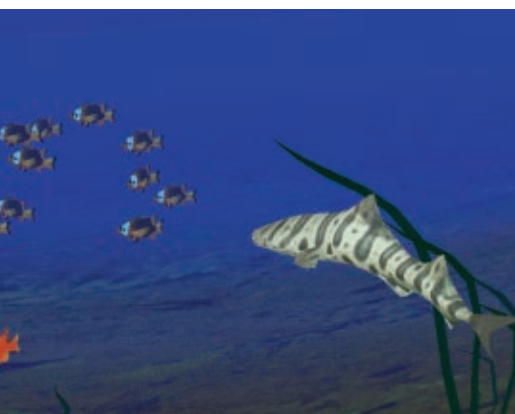
Герберт Саймон (Herbert A. Simon), американский ученый, лауреат Нобелевской премии и один из отцов искусственного интеллекта (ИИ) в 1957 г. утверждал, что через десять лет логические машины смогут обыгрывать в шахматы чемпиона мира, разрабатывать и доказывать новые математические теоремы и даже сочинять музыку.

Увы, надежды, возлагавшиеся на старый добрый искусственный интеллект (на Западе его так и называют — *Good Old Fashioned Artificial Intelligence, GOFAl*), не оправдались. Оказалось, что различные приложения классического искусственного интеллекта (КИИ), многочисленные программы, в том числе играющие в шахматы, с трудом адаптируются к динамическим меняющимся условиям. Поэтому в 1980–90 гг. концепции КИИ подверглись серьезной критике.

Исследователям КИИ казалось, что, пользуясь формальными правилами логики, генерируя синтаксис, создавая логический язык (он получил название «менталез»), можно перейти на более высокий уровень понимания принципов интеллекта. При этом предполагалось, что не имеет значения, на каком субстрате (механическом или органическом) будет создана такая логическая машина. Однако оказалось, что системы, основанные на данных принципах, хотя и работали, но плохо справлялись со сложными адаптивными задачами. По-видимому, обратная разработка (*reverse engineering*), осуществить которую стремились представители школы КИИ, упускала какие-то важные особенности естественного интеллекта. Постепенно стало ясно, что при попытках реконструировать алгоритмы интеллекта и создать на этой основе искусственный продукт, исследователи не учитывали, что разум впервые появился вовсе не у человека, а развился как следствие постепенно усложнявшегося адаптивного поведения в процессе эволюции.

### Слоны не играют в шахматы

В конце 1980-х гг. некоторые исследователи начали искать новые подходы к искусственному интеллекту, предполагающие эволюционное моделирование. Молодой американский специалист в области ИИ Родни Брукс (Rodney Brooks) написал ►



**Рис. 1.** Искусственный подводный мир, созданный в работах группы Деметрия Терзопулоса. Акула и рыбки наделены модельной нервной системой, обучающейся адаптивному поведению в непредсказуемых условиях

в 1986 г. манифест, призывающий искать более гибкие и естественные решения, базирующихся на понимании биологии и поведения животных. В статье «Слоны не играют в шахматы» он утверждал, что разум, которым наделены многие существа, даже те, что обладают примитивной нервной системой, возник как инструмент адаптации обладающих телом организмов к меняющейся непредсказуемой среде. Интеллект складывался в процессе эволюции как умение выбирать цели и оптимальный образ действий, как способность к обучению и формированию представлений, вписывающих организм в динамические условия жизни. Кроме того, разум при рождении еще очень прост: щенок не эквивалентен взрослой собаке, а ребенок — зрелому человеку, поскольку значительная часть их жизни посвящена процессам самоорганизации интеллекта и поведения.

## Виртуальный подводный мир

В середине 1990-х гг. известный канадский специалист в области компьютерного моделирования Деметрий Терзопулос (Demetri Terzopoulos) создал виртуальный трехмерный подводный мир. Конструкция напоминает океана-

риум, за тем лишь исключением, что в нем вместо живых акул и скатов плавают виртуальные рыбы, способные эволюционировать. Изначально была смоделирована лишь биомеханика, т.е. элементарные возможности движения и сокращения мышц. А координировать движения и плавать искусственные агенты должны были научиться самостоятельно.

Например, восемь новорожденных виртуальных тигровых акул выстраиваются в ряд. Сначала у них, как у младенцев, наблюдаются лишь беспорядочные движения. Через несколько часов работы суперкомпьютера одна из рыб находит среди возможностей своей нервной системы комбинацию импульсов, позволяющую совершать поступательные движения. Спустя несколько дней все акулята научились быстро плавать, освоили повороты, а затем стали и охотиться.

В искусственном океане происходили и другие чудеса. Так, виртуальная популяция рыб собиралась в стаю, каждая особь следовала за другой, и вели они себя как вполне реальный косяк. Но порой искусственные организмы преподносят сюрпризы. Например, электронный скат не пожелал плавать так же, как его биологический собрат. Самостоятельно освоив азы координации, он выработал способы движения, не свойственные настоящим рыбам. Эволюционируя, такие агенты могут научиться самым неожиданным вещам, следовательно, алгоритмы самоорганизации способны упорядочиваться автоматически.

## Уроки эволюции

Говоря о соотношении врожденного и приобретенного знания, австрийский ученый, лауреат Нобелевской премии Конрад Лоренц (Konrad Lorenz) задавался вопросом: «Почему в мире живых организмов обучение практически всегда приводит к адаптации?»

По-видимому, отвечал он, должен существовать некий изначально заложенный механизм, позволяющий организму быстро научиться принимать оптимальные решения. Например, ребенок, мгновенно понимает, что нельзя трогать горячий чайник. Значит, в ходе индивидуального развития нервная система должна сформироваться таким образом, чтобы любая новая ситуация получала правильную для выживания оценку и тем самым достигалась адаптивность. Т.е. саморазвитие индивидуума основано на сформированных предыдущей эволюцией представлениях о том, что для него хорошо и что плохо, что опасно и безопасно и т.д.

Следовательно, чтобы искусственный интеллект был «настоящим», он должен так же, как и естественный, обладать способностью к самообучению и самоорганизации. Современные исследователи искусственного интеллекта стремятся разработать устройства, которые будут иметь не только способность к обучению и соответствующие инструменты, но и систему выработанных ценностей, а также исходный репертуар простых форм поведения, опираясь на которые они смогут оценивать ситуации и адаптироваться к ним.

Эти требования имеют прямое отношение к вопросу, может ли искусственный разум зародиться в Интернете. Специалисты скептически относятся к такой возможности, считая, что во всемирной паутине нет соответствующих предпосылок, свойственных адаптивной биологической самоорганизации.

Родни Брукс считает, что автономным роботам нужно тело, определенные органы чувств и умение быстро приспосабливаться к окружающей среде. У них должны быть эволюционно сложившиеся системы врожденного поведения, на котором может строиться дальнейшее обучение и поведение. Эксперименты с такими искусственными агентами

будут стимулировать появление новых идей, проливающих свет на принципы адаптивности.

### Аниматы

Попытки моделировать адаптивное поведение предпринимались еще в 50-е гг. XX в., но из-за увлечения классическим искусственным интеллектом не получили развития. Правда, справедливости ради стоит упомянуть появившуюся в 60–70 гг. прошлого столетия теорию адаптивных автоматов М.Л. Цетлина, исследования по проекту «Животное» М.М. Бонгарда и ряд других работ. К данному направлению вернулись лишь в конце 1980-х гг., когда многие специалисты по ИИ стали разрабатывать пластичные, быстро работающие компьютерные модели или роботов, которые, в отличие от КИИ, не имели изначально заложенной картины мира и приспосабливались к среде с помощью набора элементарных поведенческих модулей. Основной задачей подобных опытов было конструирование и исследование искусственных организмов (будь то компьютерная программа или робот), способных самостоятельно адаптироваться к внешним обстоятельствам. При этом планы, цели, схемы поведения не закладываются изначально: новые качества возникают самопроизвольно в результате адаптивного поведения. Такие системы были названы «аниматами» (от англ. *animal* — животное и *automat* — автономно действующее устройство) и получили известность после состоявшейся в 1990 г. в Париже конференции «Симуляция адаптивного поведения: от животных к аниматам». В конечном своем воплощении аниматы представляют собой автономные существа или модельные агенты, которые способны существовать в меняющейся среде так же, как любые живые организмы. Если удастся смоделировать работу нервной системы таким образом,

что она сможет приспосабливаться к окружающей среде и проявлять активность, то в ней могут появиться предпосылки к самоорганизации. При понимании принципов действия примитивной нервной системы впоследствии ученые смогут, во-первых, вывести некие фундаментальные схемы, которые могут быть использованы на следующих этапах разработки искусственного интеллекта; во-вторых, подобная информация поможет биологам постичь тайны устройства более сложного мозга.

Основой для создания роботов могут быть как реальные живые существа, например пауки, осы, крысы и т.д., так и нечто абстрактно-символическое, например оригинальная операционная логика. Но наиболее популярный в наши дни способ создания интеллектуальных машин — искусственная эволюция. Чтобы развитие нервной системы шло в нужном направлении, разработчик должен задать определенный набор примитивных понятий, правила принятия новых решений и критерии отбора. Пионером подобного обучения роботов, основанного на правилах отбора в нервной системе, стал нейробиолог-теоретик, Нобелевский лауреат Джеральд Эдельман, сконструировавший со своими сотрудниками в Калифорнийском институте нейронаук серию подвижных адаптирующихся устройств *NOMAD* (*Neurally Organized Mobile Adaptive Devices*), имеющих родовое имя «Дарвин». Сегодня создано уже четвертое поколение таких систем.

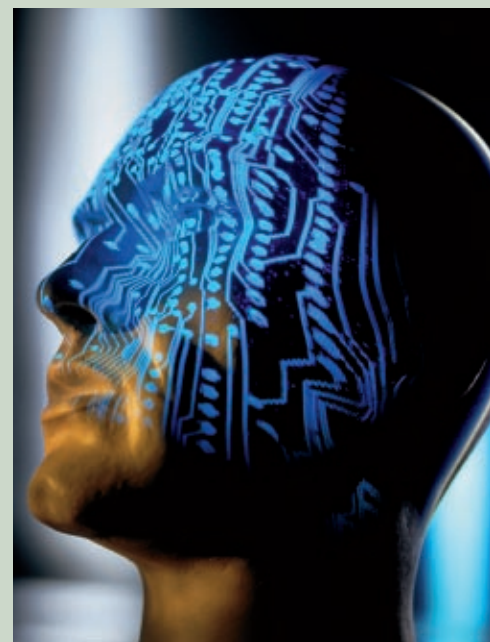
### Адаптивное поведение аниматов

Целенаправленно реконструировать принципы адаптивного поведения специалисты по ИИ начали в 90-х гг. XX в. Эти исследования и положили начало разработке моделей аниматов. Сейчас это направление активно развивается, регулярно проводятся конференции ▶

### ИНТЕРНЕТ

Может ли Всемирная паутина, которая все больше и больше захватывает сознание человека, породить некую супермодель искусственного интеллекта?

Большинство исследователей дают отрицательный ответ. Они придерживаются мнения, что сознание может возникнуть только в активной самостоятельной системе, обладающей некими базисными ценностями. В Интернете накоплен огромный объем информации, существуют возможности интерактивного общения, есть поисковые программы, системы сравнения и корреляции, однако он не имеет собственных мотиваций. Интернет можно рассматривать как слепок с коллективного сознания человечества, но он представляет собой исключительно информационную среду, т.к. не обладает сознанием, пусть даже искусственным, которым наделен мотивированный агент. Для того чтобы в Сети зародился разум, она должна начать совершать самостоятельные поступки, т.е. информационная среда должна превратиться в автономную систему. Пока ничего подобного не наблюдается.



## СЕКРЕТЫ КИНО

В 1987 г. американский ученый Крейг Рейнольдс (Craig Reynolds) с помощью компьютера построил модель поведения групп животных. Виртуальные существа следовали установленным правилам, сами собирались в стаи и, не будучи связанными между собой, демонстрировали сложное групповое поведение. Каждое из них должно подчиняться трем правилам: не слишком приближаться к другим особям, двигаться туда же, куда все, и держаться середины стаи. Рейнольдс назвал своих компьютерных зверюшек «бойдами».



Именно они и их близкие родственники стали первыми «разумными» компьютерными персонажами на киноэкране. Некоторые из них «снимались» в ряде эпизодов «Возвращения Бэтмена»: их использовали для моделирования движения стай летучих мышей и пингвинов. Поведенческая анимация применялась также в некоторых кадрах фильмов «Скалолаз» и «От заката до рассвета», в массовых сценах мультфильмов «Король Лев» и «Собор Парижской Богородицы».



Последние достижения в области компьютерного моделирования продемонстрировал фильм «Властелин колец» режиссера Питера Джексона. Многотысячные армии до последнего воина были смоделированы на компьютере. Каждый участник виртуального сражения действовал на экране именно так, как действовали бы реальные люди, а врагов можно было отличить от героев даже по поведению.

*Simulation of Adaptive Behavior (From Animals to Animats)*, издается журнал *Adaptive Behavior*. Исследователи надеются, что на основе анализа эволюции когнитивных способностей животных и с учетом особенностей интеллекта человека им удастся создать действительно умный искусственный организм.

Сегодня идет поиск общих принципов архитектуры адаптивного поведения. Сначала ученые пытались моделировать поведение насекомых — пауков, пчел, ос. Например, в возглавляемой Родни Бруксом (Rodney Brooks) лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института, где изучается широкий спектр интеллектуальных и адаптивных систем, включая создание разумных роботов, было смоделировано самодвижущееся шестиногое 35-сантиметровое насекомое-робот *Genghis*. Оно передвигалось, преодолеvalo препятствия, адаптировалось к конкретным условиям и принимало самостоятельные решения. Сегодня сотрудниками лаборатории разрабатываются обезьяноподобные и мобильные роботы (*Kismet*, *Coco*) с гораздо более сложным поведенческим репертуаром: предполагается, в частности, что они будут способны к социальным взаимодействиям и эмоциональным реакциям.

В Парижской лаборатории *Animat Lab* работают с искусственным агентом *Hexapod*, напоминающим *Genghis*. Под руководством основателя данного направления Ж.-А. Мейера (J.-A. Meyer) проводятся исследования адаптивного поведения животных и роботов. Предполагается, что система управления анимата может формироваться и модифицироваться посредством обучения, индивидуального развития (онтогенеза) и эволюции. Сегодня в *Animat Lab* разрабатывается проект *Psikharpax* — король крыс. Ученые стремятся создать робота, в котором будет синтезирован

ряд адаптивных механизмов и нервных структур, ответственных за адаптивное поведение и пространственную ориентацию у крыс. Способности электронного зверя будут развиваться за счет «обучения без учителя», т.е. он будет сам строить когнитивную карту среды и вырабатывать адаптивные стратегии поведения, схожие с теми, что использует мозг крысы.

В Англии, в Сассекском университете, работает центр вычислительных нейронаук и роботики (CCNR), также создающий интеллектуальные насекомообразные существа. В этом же университете была предпринята попытка смоделировать эволюцию группового поведения аниматов, а также создать модель «хищник-жертва».

Лаборатория искусственного интеллекта в Цюрихском университете, которой руководит Рольф Пфайфер (Rolf Pfeiffer) разрабатывает подходы понимания природы интеллекта путем его создания (*understanding by building*). Она включает построение моделей биологических систем, исследование общих принципов естественного интеллекта животных и человека, их использование при конструировании роботов и других искусственных интеллектуальных систем.

Лаборатория искусственной жизни и роботики в Римском Институте когнитивных наук и технологий, руководимая Стефано Нолфи (Stefano Nolfi), ведет исследования эволюционной роботики и принципов формирования адаптивного поведения.

### Нейробиология когнитивных процессов

Помимо моделирования адаптивного поведения, современных исследователей в области ИИ интересует непосредственное изучение процессов мышления, восприятия и других высших функций мозга. Сложность этой задачи заключается в том, что наш мыслительный



**Рис. 2.** Эксперименты по проверке способности голубей формировать абстрактные категории, такие как «дерево». Слева — камера в которой голубю показывают слайды содержащие и не содержащие объект изучаемой категории. Голубь должен клевать одну из кнопок, если слайд содержит изображение дерева. За это он получает награду пищей. Справа — два набора слайдов из экспериментов Ричарда Гернштейна — содержащие и не содержащие деревья.

аппарат состоит из около  $10^{11}$  нейронов, которые образуют между собой примерно  $10^{14}$  связей и способны к бесчисленному множеству возможных взаимодействий. Даже если можно было бы описать работу всех клеток мозга человека в любой момент времени, все равно не удастся понять, как же функционирует столь сложный механизм, как возникают мышление, восприятие, психика.

Более того, исследователями установлено, что одни и те же задачи успешно решают нервные системы с совершенно разным строением. Допустим, возьмем вопрос, поставленный еще И.М. Сеченовым: как мозг формирует абстрактные категории? Существующие методы функционального нейрокартирования позволяют сегодня увидеть, какие области человеческого мозга вовлекаются в выработку абстрактных понятий. Но одно их описание не даст ответа на вопрос о фундаментальных принципах процесса категоризации. Серия экспериментов, проведенных американскими психологами Ричардом Гернштейном (Richard Herrnstein) и Джоном Сереллой (John Cerella), показала, что формировать абстрактные категории могут не только люди, но и птицы. Голубям показывали серии

цветных слайдов и награждали их пищей только в том случае, если они касались клювом изображений деревьев. Вскоре птицы научились безошибочно отличать на новых картинках деревья от строений, автомобилей, даже кустарников или, например, от снятой крупным планом ботвы сельдерея (рис. 2). Так удалось выяснить, что, хотя мозг пернатых устроен совсем иначе, чем у высших млекопитающих, и они могут мыслить категориями. А опыты З.А. Зориной и сотрудников кафедры высшей нервной деятельности МГУ продемонстрировали, что некоторые птицы, например вороны, обладают и выраженной способностью к счету. Механизмы категоризации, памяти и преследования определенной цели работают не только у человека и птиц, но и у пчел. Как показал немецкий нейробиолог Рандольф Менцель (Randolf Menzel), пчелы способны запоминать, с каких цветов они уже собрали мед, и к каким направляются, даже если убрать их из поля прямой видимости. А между тем в мозге насекомого в миллион раз меньше нейронов, чем у человека, в нем нет ни одной структуры, похожей на высшие отделы человеческого мозга, отвечающие за рабочую память и концентрацию на поставленной цели. ▶

## ПТИЧКА ПЕВЧАЯ

Интерес ученых, исследующих принципы формирования и работы сложных функциональных систем мозга, в последнее время все чаще привлекают пернатые — своим пением. Оказалось, что многие фундаментальные механизмы пения певчих птиц формируются и работают на тех же принципах, что и человеческая речь. И у людей, и у пернатых в процессе эволюции сложились совокупности специализированных нервных структур, образующие функциональные системы, поддерживающие определенную форму поведения. Основы такого поведения в определенном смысле можно считать врожденными. Так, и у певчих птиц, и у человека существуют предпосылки к освоению «языка». Но чтобы овладеть языком, во-первых, требуется учитель, во-вторых, обучение должно происходить в определенные чувствительные периоды в детстве, когда и ребенок, и птенец легко воспринимают новое. Причем в обоих случаях в качестве шаблона для усвоения последующей программы используются врожденные предрасположенности, закладывающиеся при развитии нервной систем и ее связей. Пение птиц открывает окно в мир механизмов самоорганизации функциональных систем, основанных на совершенно ином строении мозга, чем у человека, и, тем не менее, подчиняющихся тем же системным принципам (рис. 3).

Исследованием закономерностей формирования функциональных систем сегодня занимаются междисциплинарные научные группы, в которые входят когнитивные психологи, занимающиеся развитием речи у человека, и специалисты, изучающие механизмы формирования пения у птиц. Плоды их совместной работы могут стать следующим шагом на пути к созданию и эволюции искусственного языка и интеллекта, а также способствовать формированию популяций взаимодействующих агентов, изначально обладающих некоторыми средствами коммуникации с помощью языковых или иных символов, а также способностью развиваться.

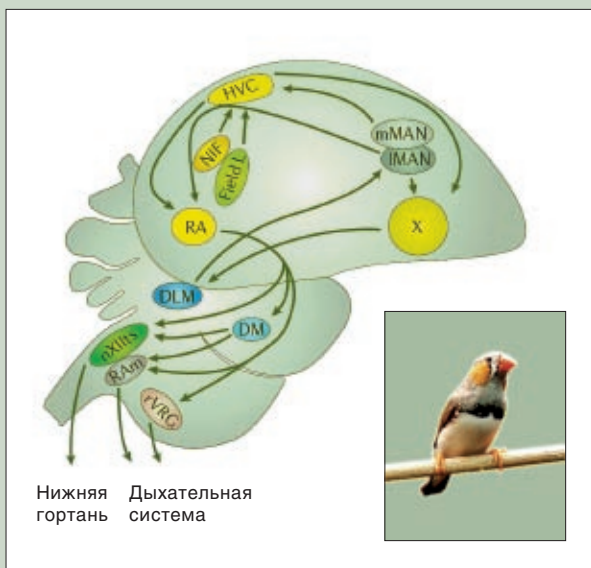


Рис. 3. Схема специализированной функциональной системы пения, сложившейся в ходе эволюции мозга певчих птиц (и отсутствующей у непевчих птиц).

**HVC** — высший вокальный центр; **NIF** — интерфациальное ядро нидопаллиума; **Field L** — поле L нидопаллиума (слуховой центр); **mMAN** — медиальное крупноклеточное ядро переднего нидопаллиума; **IMAN** — латеральное крупноклеточное ядро переднего нидопаллиума; **X** — область X; **RA** — ядро аркопаллиума; **DLM** — медиальная часть дорзо-латерального ядра таламуса; **DM** — дорзо-медиальная часть интерколликularного ядра среднего мозга; **nXllts** — ядро трахеогортанной ветви XII (подъязычного) черепного нерва; **Ram** — заднеглоточное ядро ствола мозга; **rVRG** — рострально-вентральная группа дыхательных ядер ствола мозга

Нервная система червя *C.elegance*, излюбленного объекта молекулярной генетики развития, состоит всего из 302 нейронов, содержит лишь около 5 тыс. связей, однако и ему присущ достаточно сложный репертуар поведения. Более того, исследования последних лет показали, что червь способен вырабатывать условные рефлексы, используя те же правила, которые И.П. Павлов открыл, изучая собак. Из вышесказанного следует, что фундаментальные свойства интеллекта способны реализоваться у живых существ с самой разнообразной архитектурой нервной системы. Следовательно, для моделирования разумного поведения требуется нахождение тех общих принципов, на основании которых природа создавала когнитивные

способности у организмов с самой разной, часто очень отличающейся от человека нервной системой.

### Теория функциональных систем

В поисках биологически обоснованных правил построения ИИ ученые обращаются сегодня к теориям работы мозга, объясняющим устройство естественного интеллекта.

Одна из них — теория функциональных систем (ТФС), созданная в середине XX в. русским физиологом П.К. Анохиным. Она описывает особый слой процессов в мозге, определяющих когнитивные функции и адаптивное поведение человека и животных.

Свойства сознания, психики и разума, как предполагает ТФС, являются

не проявлениями работы тех или иных отдельных зон мозга. Они возникают в результате объединения клеток многих областей в организованные надклеточные структуры, получившие название функциональных систем, поскольку их деятельность тесно связана с выполнением тех или иных функций организма. ТФС призвана понять специфические принципы самоорганизации систем, ведущих к появлению адаптивного поведения со всеми его психологическими атрибутами.

Современные методы нейронаук дают возможность наблюдать в эксперименте за тем, как в мозге образуются такие функциональные системы. Ученые из лаборатории нейрофизиологических основ психики Института психологии РАН

регистрировали работу нервных клеток разных отделов мозга у бодрствующих, свободно передвигающихся животных. Оказалось, что в самых различных областях мозга во время поведения синхронно активируются миллионы нервных клеток, и их совместная активность завершается, когда животное достигает цели. Проведенные эксперименты подтвердили три важнейших положения ТФС: подобные системы должны быть целенаправленными, распределенными (т.е. для достижения общего результата объединяются элементы разных структур) и синхронизованными.

### Прозрачный мозг

Мозг, работающий по принципу функциональных систем, бросает серьезный вызов исследователям. Они должны научиться наблюдать за тем, как распределенные по всему мозгу клетки объединяются в системы, решающие те или иные адаптивные задачи. Как найти и увидеть нейроны среди миллионов других клеток мозга, не участвующих в данном поведении? Как понять принципы вовлечения отдельных нейронов в систему и проследить связи разных систем в формирующемся опыте организма? Решение этих вопросов требует новых подходов к изучению мозга, поиски которых ведут исследователи в отделе системогенеза, возглавляемом К.В. Анохиным. Цель их проекта, объединяющего методы нейронаук, молекулярной биологии, физики и компьютерного анализа изображений, — сделать мозг максимально «прозрачным» для исследователя, чтобы можно было воочию увидеть нервные процессы, лежащие в основе формирования и работы сложных функциональных систем.

Один из этих подходов использует гены, активирующиеся в нервных клетках при запоминании новой информации. Специальные молекулярные зонды позволяют ученым выявить нейроны, в которых эти

### ЭВОЛЮЦИОННАЯ РОЛЬ МОТИВАЦИЙ

Одна из моделей эволюционного возникновения целенаправленного адаптивного поведения была разработана в Институте прикладной математики Владимиром Редько и Михаилом Бурцевым. Исследователи опирались на общие схемы управления целенаправленным адаптивным поведением, которые рассматриваются в теории функциональных систем (ТФС).

Важную роль в функциональных системах играют мотивации, связанные с потребностями организма. В поведении животных мотивация служит для формирования цели и поддержки целенаправленных форм поведения. Ее можно рассматривать как активную движущую силу, которая стимулирует нахождение решения, адекватного потребностям животного в конкретной ситуации. Например, если организм голоден, он должен искать пищу. Но как на основе этого возникает целенаправленное поведение?

Исследователи рассматривали популяцию агентов, каждый из которых имел определенный энергетический ресурс и естественные потребности в питании и размножении, количественно характеризовавшиеся мотивациями. Существа жили в простой одномерной клеточной среде, где можно было найти пищу. Они увеличивали свой энергетический ресурс за счет питания и расходовали его при совершении действий; если ресурс уменьшался до нуля, агент погибал. Кроме того, искусственные организмы могли скрещиваться и таким образом производить потомство. При малом энергетическом ресурсе преобладала мотивация к питанию, при большом — к размножению. Поведением особей управляла простая нейронная сеть, состоящая всего из 7 нейронов, каждый из которых имел 9 входов, включая специальные входы от мотиваций. На входы поступали сигналы из внешней среды, а выходы нейронов определяли действия искусственных организмов. Вся система управления агентом задавалась 63 числами, определяющими связи между входами и нейронами и составившими геном анимата.

Модель была реализована в виде компьютерной программы. С ее помощью исследовалась эволюция популяции и влияние мотиваций на поведение каждого индивидуума. Для этого отключались входы от мотиваций и проводилось сравнение процессов развития популяций с «работающими» и с «выключенными» мотивациями. Моделирование показало, что эволюция приводит к более высокой численности популяции организмов с мотивациями, чем популяции «немотивированных» собратьев.



**Рис. 5.** Трехмерная карта активности генов в мозге животного (справа) обучавшегося находить расположение спрятанной под водой платформы (слева). Оранжевые точки в мозге — нейроны гиппокампа (структуры, отвечающей за формирование памяти), участвующие в запоминании места платформы

## ХЕПЕРА

«Хепера» (*Khepera*) — платформа для моделирования нервной системы адаптивных роботов, использующаяся во многих лабораториях. Она может существовать и как модель организма в виртуальной среде, позволяющая наблюдать его эволюцию, и как настоящий робот, который можно снабдить любой моделью нервной системы, создаваемой на компьютере. Можно сказать, что «Хепера» предоставляет свое «тело» для проверки самых разных гипотез эффективности работы искусственного мозга. Робот представляет собой миниатюр-

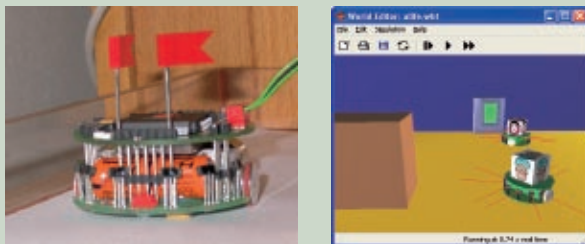


Рис. 4. Робот «Хепера» используемый в экспериментах по моделированию адаптивной нервной системы (слева) и его «двойники» применяемые для моделирования поведения робота в виртуальной среде (справа).

ный шестисантиметровый цилиндр. Он оснащен двумя колесиками, каждое из которых подключено к своему электромотору, что позволяет маневрировать, управляя оборотами каждого из моторов отдельно. Внутри корпуса помещается процессор и микросхема перезаписываемой *flash*-памяти, в которую загружается управляющая программа. Робот «видит мир» при помощи видеокamеры и восьми инфракрасных датчиков, расположенных по периметру. Для регистрации данных в процессе эксперимента механизм может быть подсоединен к компьютеру при помощи кабеля или радиосвязи (рис. 4).

### Технические характеристики робота *Khepera II*

- Процессор: *Motorola* 68331, 25 МГц
- RAM: 512 Кбайт
- Flash-память: 512 Кбайт
- Привод: два электромотора постоянного тока
- Скорость передвижения: 2–60 см/с
- Сенсоры: восемь инфракрасных сенсоров радиусом действия 100 мм
- Размеры: диаметр 70 мм, высота 30 мм
- Вес: около 80 г
- Допустимая нагрузка до: 250 г
- Интерфейс: RS-232

гены работают при обучении, а современные методы компьютерного анализа изображений дают возможность реконструировать затем весь «след памяти» в мозге животного (рис. 5). Эти эксперименты показывают, что каждый, даже минимальный эпизод нового опыта, дает импульс к изменению работы генов в миллионах нервных клеток: мозг и во взрослом возрасте никогда не прекращает свои развитие и самоорганизацию. Использование двойных и тройных меток позволяет сегодня исследователям задавать вопросы, как новые функциональные системы образуются и взаимодействуют при формировании адаптивного поведения.

### Танцующий робот

В последнее десятилетие моделирование адаптивного поведения аниматов и исследование принципов самоорганизации функциональных систем мозга, обеспечивающих адаптацию у биологических организмов, сближаются. Вместе с исследователями из институтов

прикладной математики и оптико-нейронных технологий РАН, с факультета вычислительной математики и кибернетики (ВМК) МГУ, группа К.В. Анохина работает над новым синтетическим проектом «Мозг анимата». Он посвящен моделированию поведения умных машин на основе принципов работы ФС. В одном из экспериментов анимат, модель робота *Khepera* (Хепера), помещается в ограниченное стенками пространство, где расставлены всевозможные цилиндрические столбики, на некоторых установлены батарейки. Когда запасы энергии истощаются, искусственный агент начинает искать источник питания. Чтобы выжить, он должен научиться отличать стены от предметов, и активные батарейки, излучающие зеленый свет, от разряженных, горящих красным огоньком. Согласно изначальной программе, анимат может подъехать к батарейке, зарядиться и остаться около нее. Однако если он не отправится дальше в поисках нового источника питания, он

«умрет» от голода. Таким образом, робот должен сам научиться тому, что не было заложено в программу (рис. 6). В результате искусственной эволюции один из «питомцев», который прошел путь до 64 поколения (в каждом поколении было по 50 агентов), начал вести себя очень странно. Он вращался вокруг своей оси до тех пор, пока уровень его энергии не падал до критического. Затем автомат подъезжал к ближайшему источнику питания, заряжался и опять начинал крутиться рядом с бесполезной красной батарейкой, вновь теряя силы. Потом он начинал колебаться между двумя источниками, приняв решение, двигался в сторону ближайшего из них, подпитывался и опять начинал «танцевать». Исследователи предположили, что, вращаясь, он осматривается по сторонам, локализуя своим зрением расположенные поблизости источники зеленого света. Поэтому, когда уровень энергии падал ниже критического, он уже знал, куда двигаться, и без промедления направлялся к ближайшему



источнику питания. Предсказать, что такая стратегия возникнет в результате эволюции всего 64 поколений автоматов, было невозможно. Однако подобное происходит регулярно, причем у разных исследователей в самых разных ситуациях. Когда специалисты по моделированию адаптивного поведения создавали нервную систему искусственных агентов даже из небольшого количества клеток и запускали эволюционный цикл, часто возникали абсолютно неожиданные формы приспособительного поведения. «Подопытные» находили совершенно непредсказуемые способы решения своих задач, причем зачастую гораздо более простые, чем могли предвидеть и заложить в программу разработчики.

### Все только начинается

Создавая искусственные интеллектуальные системы, ученые получают возможность подсматривать за работой модельных нервных клеток, что пока не удается делать с реальными существами, несмотря на возможности функционального нейромониторинга и других новейших

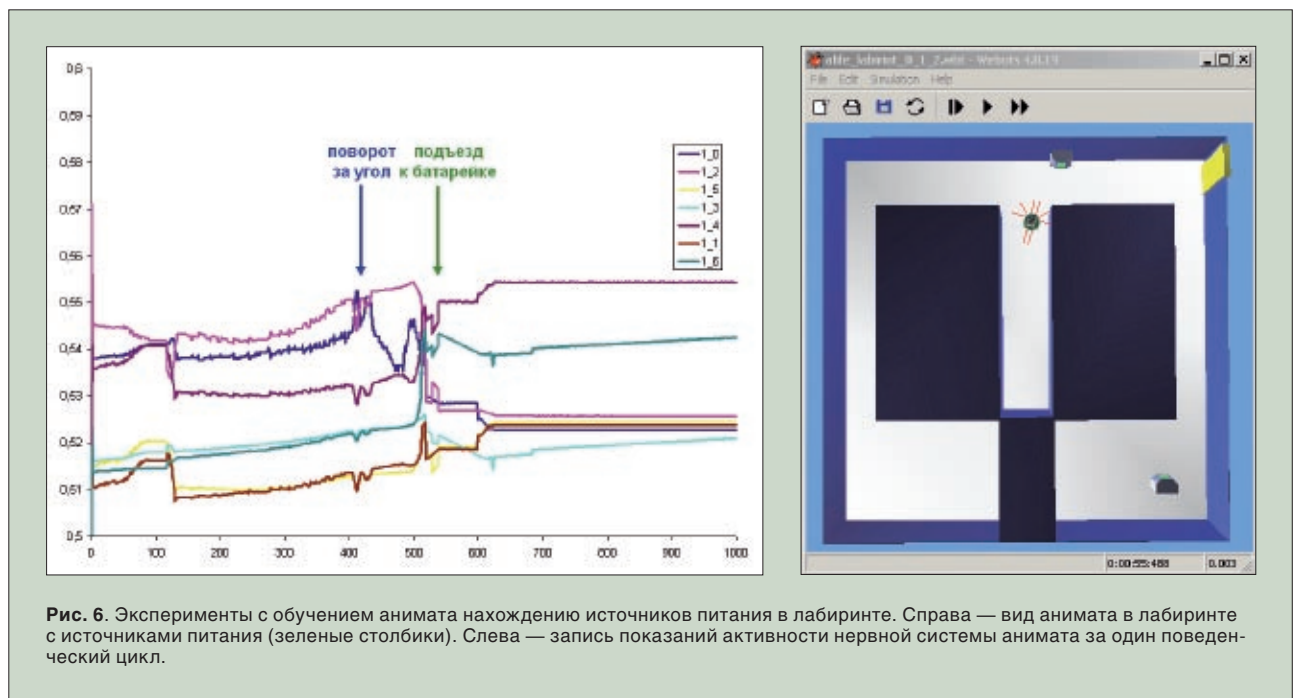
методов исследования мозга. Даже относительно простые организмы, например, пчелы, улитки, или дрозофилы, обладают нервной системой, состоящей из десятков и сотен тысяч нейронов. Никакие самые современные методы не позволяют одновременно увидеть работу всех этих клеток, не дают возможность наблюдать их взаимосвязи и понять, что происходит с каждым из нервных контактов в момент совершения организмом какого-либо действия. Изучая же поведение искусственных агентов, ученые могут не только отслеживать процесс эволюции и обучения своих агентов, но и видеть, как работает их нервная система в целом, все контакты в ней, каждая клетка. И оказывается, например, что некоторые нервные клетки агентов постепенно начинают специализироваться на тех или иных абстрактных компонентах среды. Они категоризируют предметы или некие действия точно так же, как и человеческий мозг, выполняя определенные задачи, распознает лица или объекты в пространстве. Разрабатываемые сегодня направления (эволюционное


моделирование, изучение адаптивного поведения и работы функциональных систем, исследование высших функций мозга и когнитивных механизмов) могут внести неоценимый вклад в понимание фундаментальных законов и принципов создания как естественного, так и искусственного интеллекта. ■

Тина Катаева

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем. М.: Медицина, 1998.
- Зорина З.А., Полетаева И.И. Зоопсихология. Элементарное мышление животных. М.: Аспект Пресс, 2003.
- От моделей поведения к искусственному интеллекту. М.: КомКнига, 2006.
- Саймон Г. Науки об искусственном. М.: Мир, 1972.
- Beckoff M. et al. (Eds.) The Cognitive Animal. Empirical and Theoretical Perspectives on Animal Cognition. The MIT Press: England. 2002.
- Brooks R. Cambrian Intelligence. The Early History of the New AI. The MIT Press: England. 1999.
- Reynolds C.W. Flocks, herds, and schools. Computer Graphics, 1987.





По материалам беседы  
с Валерием Чичаговым

# ПУСТЫНЯ наступает

Одна из острейших геоэкологических проблем современности — опустынивание и засуха на нашей планете. Своим мнением с корреспондентом журнала «В мире науки» поделился географ-геоморфолог, заместитель председателя Геоморфологической комиссии РАН, профессор Института географии РАН Валерий Павлович Чичагов, более полувека изучающий аридные области Земли, их пространственную организацию и влияние на смежные территории

Процесс опустынивания представляет собой разрушение аридных и семиаридных экосистем, приводящее к уменьшению природного потенциала ландшафтов и создающее тяжелейшие экологические условия для развития всех форм жизни

**Н**а протяжении истории Земли ее климат претерпевал естественные метаморфозы: ледниковые периоды сменялись эпохами потепления. Менялись ландшафты, одни виды животных и растений погибали, уступая место другим. Там, где некогда цвели сады или простирались бескрайние степи, сегодня кипит жизнь многомиллионных городов, но что станет с ними через тысячи лет?

В результате длительного воздействия засух и активного вмешательства человека природа целых регионов кардинально изменяется. Девственные субтропики Средиземноморья уступили место разрозненным лесным массивам, кустарникам и обширным безлесным пространствам. Бескрайние ковыльные русские степи практически перестали существовать, а знаменитая русская тайга с сетью многоводных рек и болот превратилась в конгломерат вторичных лесов, пустошей и пахотных угодий.

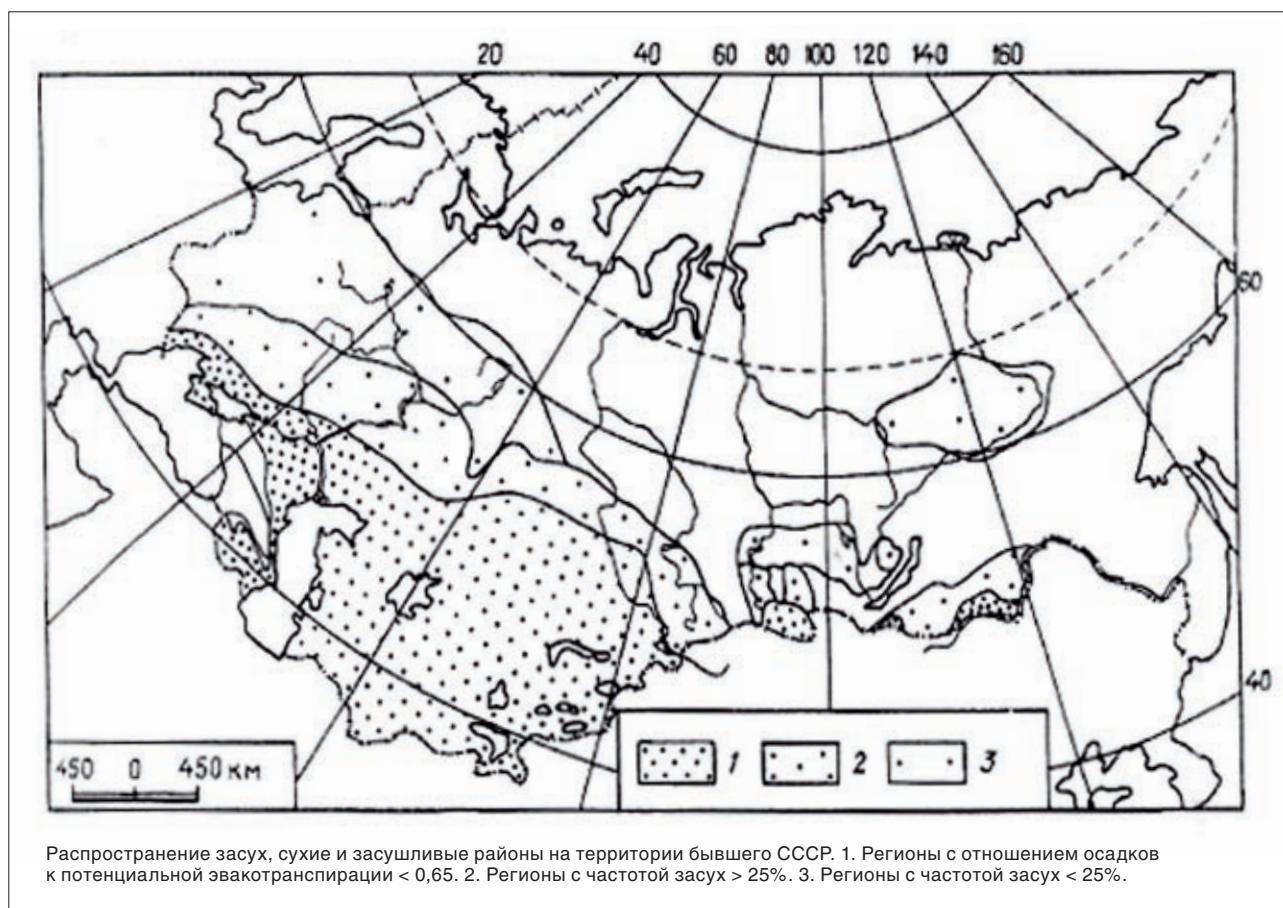
Сегодня стараниями человека на смену эволюционно сформировавшейся последовательности естественных широтных зон — тундры, тайги, лесостепи, степи и пустыни — пришли новые природно-антропогенные ареалы с измененной растительностью, искалеченными плотинами и водохранилищами реками, обмелевшими и загрязненными озерами, безжизненными пустынями, что приводит к изменению биосферы и условий обитания людей в целом. Необходимо помнить, что влияние процессов опустынивания выходит далеко за пределы зоны самих пустынь. Чтобы избежать дальнейшего развития процесса, необходимо не только противостоять наступлению пустыни и восстанавливать утраченные угодья, но и сохранять природу смежных, более влажных регионов.

Южно-русские территории, в частности, Прикаспийская равнина и

Калмыкия, в советский период испытали мощное антропогенное воздействие, спровоцировавшее процесс опустынивания, который существенно изменил природную среду. На составленной членом-корреспондентом РАН Н.Ф. Глазовским карте (стр. 82) видно, что засушливые, полусухие и сухие субгумидные районы занимают значительную часть бывшего СССР: подобные области есть в Молдове, Украине, Азербайджане, Грузии, Армении, государствах Центральной Азии, а также на юге европейской части России, в Алтайском крае, Туве и Забайкалье. Их площадь составляет порядка 4,6 млн. км<sup>2</sup>, на которых проживает более 70 млн. человек.

К 1990 г. сельскохозяйственные земли нашей страны были повреждены водной эрозией на площади 300 тыс. км<sup>2</sup>, а ветровой — на 79 тыс. км<sup>2</sup>; ежегодно площадь эродированных угодий возрастала на 4–5 тыс. км<sup>2</sup>; на площади 7,7 тыс. км<sup>2</sup> происходило засоление орошаемых земель. Наблюдалась существенная деградация растительного покрова пастбищ в Калмыкии и Астраханской области.

Пример Калмыкии, где находятся наиболее аридные районы РФ, весьма показателен. На протяжении нескольких веков здесь преобладало скотоводство, причем соотношение численности верблюдов, коней и овец позволяло поддерживать экологическое равновесие и сохранять растительный покров. Но во второй половине XX в. в регионе были созданы крупные коллективные овцеводческие хозяйства, а поголовье верблюдов уменьшилось с 40% до 6,7%, что привело к истощению пастбищ. Земельный фонд стал использоваться очень интенсивно, но не рационально и не дальновидно. Например, на равнинах у подножия Ергеней в районе старого русла реки Волги начали культивировать рис. Для заполнения водой ►



рисовых чеков использовалась вода небольших речек, стекавших с гор. В результате были получены обнадеживающие урожаи, но уже через несколько лет водные потоки иссякли, питавшиеся ими озера резко обмелели, а рисовые чеки были заброшены.

В смежных районах Прикаспийской равнины была проложена сеть оросительных каналов, что привело к интенсивному вторичному

Значительную роль в создании рельефа Калмыкии сыграла деятельность человека. Выяснилось, что в сухие сезоны ветер интенсивно увеличивает созданные человеком углубления, и в песчаных поверхностных отложениях появляются протяженные понижения и бугры. Интенсивно идет процесс опустынивания (стр. 83). Подобные длительные антропогенные нагрузки и нерациональное исполь-

для сельского хозяйства, в том числе из-за выпаса скота из Астраханской области, Ставропольского края и Дагестана. В итоге почти 83% земель практически превратились в пустыню. Русский академик К.М. Бэр, изучивший и описавший сто лет назад равнинные территории Калмыкии и Нижнего Поволжья, сегодня не узнал бы их. К счастью, природа до поры до времени терпелива и способна к регенерации. Там, где воздействие человека в силу тех или иных обстоятельств становится менее интенсивным, земля постепенно залечивает раны. Так, после распада СССР сельское хозяйство Калмыкии пришло в упадок, антропогенные нагрузки на равнины резко сократились, и природа начала понемногу восстанавливаться. Травяной покров стал более густым, прекратили движение зыбучие пески. поголовье копытных,

## В результате длительного воздействия засух и активного вмешательства человека природа целых регионов кардинально изменяется

засолению почв и подтоплению более сорока населенных пунктов. Кроме того, началось строительство южного участка канала «Волга-Чограй», но, к счастью, проект не был реализован.

зование территорий превратили район Черных степей Калмыкии из плоской степной равнины с устойчивым травянистым покровом в подвижное песчаное море, лишенное растительности и непригодное

преимущественно сайгака, начало возрастать. В хозяйствах местных крестьян снова появились верблюды, которые не выбивают степную растительность. В сухих степях и полупустынях, подобных калмыцким и восточно-монгольским, результаты естественной рекультивации нарушенной растительности проявляются через 5 лет после снятия антропогенных нагрузок. Правда, восстановленная природа беднее, чем изначальная. Аналогичные деструктивные процессы происходят и в засушливых регионах других континентов.

В России и странах СНГ накоплен огромный опыт по рациональному использованию пустынных земель и координации действий со смежными регионами. В частности,

**На протяжении нескольких веков в Калмыкии преобладало скотоводство, причем соотношение численности верблюдов, коней и овец позволяло поддерживать экологическое равновесие и сохранять растительный покров**

разработаны фитомелиоративные, селекционные и организационно-хозяйственные меры, направленные на повышение продуктивности аридных пастбищ, проведено ирригационное освоение засушливых территорий (орошены 21 млн. га пастбищ), созданы защитные лесные насаждения вдоль каналов и на подвижных песках, разработаны и внедрены новые технологии борьбы с опустыниванием. Однако



Этапы опустынивания, вызванного деятельностью человека.



Вид того же участка несколько лет спустя изменился до неузнаваемости.

необходима качественная оценка опустынивания и засух, их экологических и социальных последствий, проведение мониторинга, формирование системы охраняемых территорий, создание новых заповедников. Важна также реализация региональных проектов, призванных решить экологические проблемы засушливых регионов СНГ. Если международное сообщество не будет контролировать

реализацию программы действий в рамках конвенции ООН по борьбе с опустыниванием и засухой, то последствия могут оказаться самыми непредсказуемыми. Лишенные заботы и внимания, аридные, субаридные и субгумидные регионы со временем могут стать подобны территориям, пережившим ядерную зиму. ■

Дмитрий Мисюров

# СОЗДАНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ

## НА ПРИНЦИПАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФЕРМЕНТОВ

**Один из основных методов повышения эффективности химических реакций — правильный подбор катализаторов. Известно, что наибольшей эффективностью и селективностью в химических реакциях обладают природные катализаторы — глобулярные белки-ферменты. Поэтому, копируя те или иные аспекты их структуры, можно создать новые ферментоподобные катализаторы.**

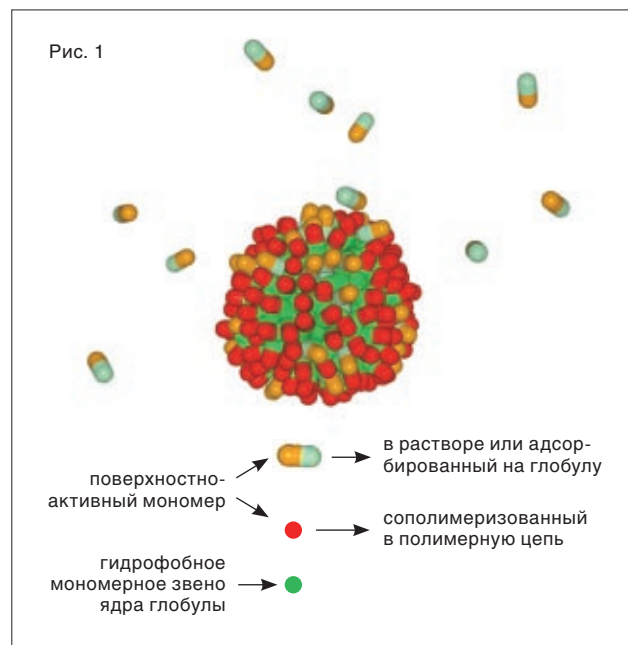
Эффективность процессов катализа глобулярными белками-ферментами связана с их уникальной структурой, которая определяется последовательностью аминокислотных остатков в полипептидной цепи белка (т.е. первичной структурой). В свою очередь, первичные структуры белков сформировались в ходе долгой молекулярной эволюции. С учетом этого каталитическая функция любого фермента уникальна. Однако на таком фоне глобулярные белки-ферменты обладают и многими универсальными свойствами, составляющими необходимые предпосылки их функционирования.

Во-первых, белки осуществляют свою функцию в компактном (глобулярном) состоянии, в противоположность свойственному синтетическим полимерам состоянию развернутого клубка. Такое состояние достигается за счет притяжения гидрофобных (*H*) звеньев белковой цепи. Во-вторых, белковые глобулы остаются в растворе и не выпадают в осадок, несмотря на притяжение *H*-звеньев. Это достигается за счет наличия в белковой цепи звеньев с полярными (гидрофильными) аминокислотными остатками (*P*-звеньев). Такие звенья образуют в белковой глобуле внешнюю гидрофильную оболочку для внутреннего *H*-ядра, препятствующую агрегации макромолекул и их осаждению. В-третьих, каталитический эффект достигается за счет существования активного центра глобулярного белка, состоящего из нескольких мономерных звеньев, определенным образом ориентированных друг относительно друга. Как правило, активный центр лежит на поверхности глобулы, а взаимная ориентация звеньев в активном центре связана с жестко фиксированной уникальной пространственной структурой белка.

Как известно, фундаментальное свойство конформации статистического клубка, присущее большинству синтетических растворимых полимеров, — гигантские флуктуации размеров и формы макромолекулы, обусловленные тепловым движением сегментов. Простое введение каталитических групп в полимерную цепь заведомо неэффективно. Для успешного решения проблемы создания полимерных катализаторов, воспроизводящих функциональные свойства ферментов, необходимо обеспечить стабильность конформации макромолекулы (носителя активных, каталитических центров) к тепловым флуктуациям. Только в таком случае локальная структура активного центра будет фиксирована в ходе всего реакционного процесса, что должно обеспечить многократное и эффективное повторение каталитического акта.

### Активный каталитический центр

В природе стабильность ферментов к тепловым флуктуациям обеспечена их глобулярной структурой. В основе же нового подхода, разработанного учеными



Принцип получения глобул с активным каталитическим центром

из Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (академиком РАН А.Р. Хохловым, д.х.н. Ю.Н. Белоконом, д.х.н. В.Я. Гринбергом, д.ф.-м.н. В.В. Василевской, д.х.н. В.И. Лозинским, к.х.н. И.М. Охапкиным), лежит придание стабильной (неагрегирующей) глобулярной структуры синтетическим сополимерам со специфическими функциональными группами, надлежащая комбинация которых может привести к формированию активного каталитического центра.

По мнению руководителя проекта академика Алексея Хохлова, катализаторы будут предназначаться для целей органического синтеза. Они будут представлять собой сополимерные цепи, состоящие как минимум из двух сортов мономерных звеньев (аналоги *N*- и *P*-звеньев в случае белков). Притяжение аналогов *N*-звеньев будет формировать глобулярную конформацию сополимерной цепи. За счет наличия аналогов *P*-звеньев будет формироваться оболочка глобулы, препятствующая процессам агрегации и выпадения в осадок. При этом аналоги *P*-звеньев будут нести каталитически активные группы для осуществления желаемой химической реакции с субстратом. В этом случае даже в отсутствие активного каталитического центра, просто за счет большой поверхности молекулярно-дисперсных глобул, содержащих каталитически-активные звенья, может достигаться высокая эффективность каталитической реакции.

Наличие активного каталитического центра исследователи из Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН предполагают реализовать следующим образом (рис. 1). При сополимеризации *N*- и *P*-звеньев они используют несколько типов поверхностно активных звеньев. За счет поверхностной активности звенья будут встраиваться в поверхность формирующихся глобул. Градиенты концентрации компонентов вблизи поверхности будут обеспечивать взаимную ориентацию каталитически активных групп *P*-звеньев. Методами комбинаторной химии будет осуществлен подбор субстратов, оптимальных с точки зрения ускорения химической реакции данного типа.

В результате будут разработаны эффективные глобулярные полимерные катализаторы для реакций органического синтеза, аналогичные реакциям, осуществляемым такими ферментами, как липазы, пептидазы (протеазы), гидроксинитриллиазы и др. В целом проект базируется на теоретических расчетах и последующем синтезе полимеров различной природы с вариацией состава и возможных участников — компонентов активного центра. Полученные полимерные катализаторы будут охарактеризованы по их каталитической активности с целью нахождения корреляций «структура — каталитическая активность». Предполагается, что полученные катализаторы смогут обеспечить проведение реакций в условиях, выходящих за возможности ферментов (высокие температуры и давления,

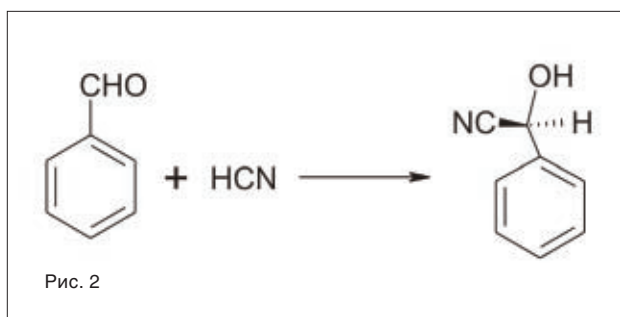


Схема синтеза циангидринов

агрессивные среды и другие экстремальные условия), поскольку синтетические сополимеры будут содержать устойчивые в таких условиях группировки, а необходимая глобулярная конформация будет автоматически поддерживаться при повышенных температурах и давлениях. Подобное сочетание определенных каталитически активных группировок и глобулярной конформации макромолекул ферментоподобных синтетических (со)полимеров является оригинальным и в работах других авторов не описано.

### Исследуемые каталитические реакции

Ученые из Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН предполагают рассмотреть два типа реакций, катализируемых биомиметическими системами. К первому типу относятся реакции гидролиза сложноэфирной связи, которые имеют широкое распространение в живой природе. В частности, существует большое число ферментов, катализирующих реакции именно этого типа. Поэтому логично их использовать в качестве модельных при создании синтетических ферментоподобных полимерных систем.

Второй тип реакций представляет собой важнейший класс химических превращений, имеющих большое практическое значение. Речь идет об образовании *C*-*C* связей путем конденсации альдегидов с *C*-*N*-кислотами, в том числе стереоселективной. Одно из основных направлений в исследовании этих процессов — создание стереоселективных катализаторов синтеза циангидринов (рис. 2) как прекурсоров биологически активных соединений β-гидроксиаминов.

При создании катализаторов вышеуказанных превращений будут применены подходы комбинаторной химии. С их помощью будет проведена оптимизация строения субстратов и отобраны те из них, по отношению к которым синтетические аналоги ферментов окажутся наиболее активными.

### Неспецифические каталитические системы

Исследователи в своем проекте используют два типа синтетических систем, для которых характерны неспецифическое и специфическое каталитические ▶

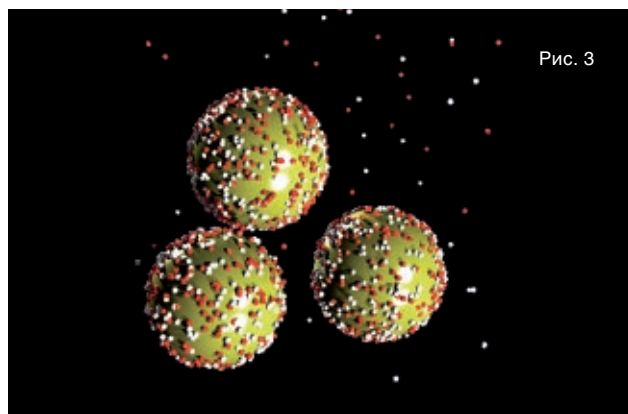


Рис. 3

Концентрирование субстрата и катализатора в поверхностных слоях капель эмульсий: ● молекулы субстрата; ○ молекулы катализатора

действия. Неспецифический каталитический эффект создается за счет концентрирования реагентов и катализатора в поверхностных слоях глобул или капель эмульсий (рис. 3). Для значительного ускорения реакции необходимо, чтобы субстрат и катализатор были поверхностно активными. С учетом этого условия методами комбинаторной химии будет исследован ряд субстратов и катализаторов для реакций гидролиза сложных эфиров.

В роли катализаторов будут выступать производные гистидина, присутствующие в активном центре гидролаз, содержащие гидрофобные алкильные фрагменты и гидрофильные группировки, в том числе заряженные, что наделяет катализатор сильными поверхностно активными свойствами. Библиотека субстратов включает эфиры алифатических кислот и замещенных фенолов, содержащих электроноакцепторные группировки. Использование поверхностей капель эмульсий в качестве каталитического нанореактора позволит простейшим способом смоделировать каталитические участки на поверхности глобулярных ферментов.

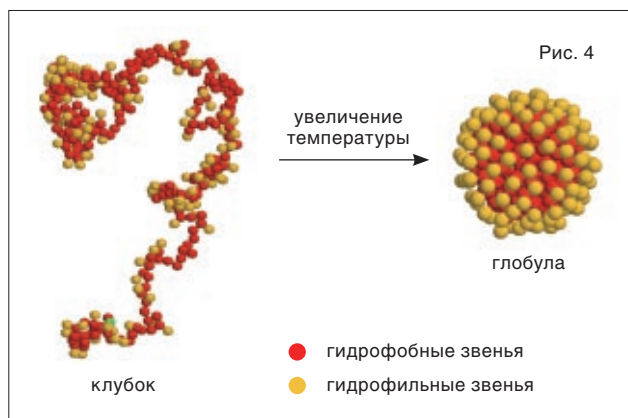


Рис. 4

Переход клубок-глобула в растворах биомиметических термочувствительных полимеров

### Специфические каталитические системы

Действие катализаторов со специфическим каталитическим действием основано на создании в синтетической макромолекуле активного центра, моделирующего активный центр природных ферментов, но применимый в более широких условиях среды и к большему числу субстратов. Селективность катализаторов будет определена с использованием подходов комбинаторной химии, описанных выше для неспецифических катализаторов. Библиотеки используемых субстратов будут расширены по сравнению с неспецифическими катализаторами. Синтетические аналоги ферментов будут получены из комбинаций сомономеров, имеющих необходимые функциональные группировки, в условиях, ранее разработанных для синтеза биомиметических сополимеров, когда при температурах выше области фазового расслоения растворов термочувствительных полимеров формируется плотное гидрофобное ядро глобулы, «защищенное» более гидрофильными сегментами цепей от выпадения в осадок (рис. 4). В частности, будут получены сополимеры *N*-винилкапролактама (основной мономер *N*-типа) со смесью таких амфифильных, (т.е. автоматически встраивающихся в поверхность глобулы) сомономеров, как *N*-акрилоилгистамин (имидазол-содержащее звено), 2-гидроксиэтиленгликольакрилат (*ОН*-содержащее звено) и акриловая кислота (или ее легко гидролизуемый эфир) в качестве карбоксилсодержащего звена. Такое сочетание сомономеров позволит сформировать конформации полимерной цепи, включающие пространственно-сближенное расположение имидазольной, гидроксильной и карбоксильной групп на поверхности глобулы, что характерно для большого класса ферментов сериновых гидролаз (в частности, сериновых протеаз, липаз, пенициллиназ и др.). Описанное расположение функциональных групп придаст полимерной глобуле каталитические свойства в реакциях гидролиза субстратов со сложноэфирными, амидными и нитрильными связями. Последний случай особенно важен, так как гидролиз нитрилов до амидов, в том числе ферментативный (например, акрилонитрила), имеет промышленное значение. ■

### ОБ АВТОРАХ

**Алексей Хохлов** — академик РАН, зав. лабораторией физической химии полимеров Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, зав. кафедрой физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

**Валентина Василевская** — доктор физико-математических наук, ведущий сотрудник Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН.

**Елена Демыгина** — корреспондент журнала «В мире науки».



# ЭФФЕКТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

**Проект «Системы автономного энергоснабжения на основе комбинированного использования возобновляемых ресурсов и современных систем аккумулярования и генерирования энергии»**

Исследования показали, что уже в 1970-х гг. было невозможно повышать рентабельность электростанций за счет увеличения их мощности. Нарастание размеров и мощности тепловых, атомных и гидроэлектростанций достигло своего предела и не вело к снижению себестоимости вырабатываемой тепловой и электрической энергии. Уровень износа оборудования энергетического комплекса достиг критического значения, а для его замены потребуются крупные инвестиции. Кроме того, в рамках централизованной энергетики для передачи энергии на большие расстояния от крупных тепло- и электростанций до потребителя необходимо построить дорогостоящие ЛЭП и проложить тепло- и электролинии. Аварии же на таких линиях грозят не только финансовыми потерями и остановкой важнейших производств, но и тяжелыми социальными последствиями. Строительство газо- и нефтепроводов — еще более дорогостоящее мероприятие, а экологические послед-

ствия аварий на трубопроводном транспорте и в атомной энергетике приведут к катастрофическим последствиям. При использовании местных возобновляемых ресурсов отпадает необходимость транспортировки и сжигания традиционных видов топлива, снижается нагрузка на экологию регионов и на транспортную систему страны, осваиваются новые территории.

## Как изменить ситуацию

Быстрое истощение природных невозобновляемых источников сырья, в том числе нефти и газа, требует рационального использования полученной энергии и разумной эксплуатации ее потенциальных источников.

Согласно данным Мирового энергетического совета (МИРЭС), к середине столетия добываемые ресурсы нефти и газа существенно сократятся, а недостаток ресурсов еще какое-то время будет компенсироваться увеличением использования низкосортного угля и других видов энергоносителей. По данным Международного агентства по атомной энергии, объем ресурсов урана в мире сегодня составляет 2,4 млн. т. Для работы 420 действующих ядерных энергетических реакторов в течение года потребуется 58 тыс. т. Таким образом, запасов ▶

## О ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ

**«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы»**

**Из интервью заместителя руководителя Федерального агентства по науке и инновациям Александра Клименко экспертному каналу ScienceRF.ru**

«Программа заканчивается в конце 2006 г., поэтому говорить сегодня можно только о промежуточных результатах ее выполнения, полученных в ходе ее реализации в 2005 г. Здесь, на мой взгляд, нужно сделать одну оговорку. Дело в том, что программа начата еще в 2002 г. и имеет две редакции. Первая действовала в период с 2002 по 2004 г., и все проекты этой редакции программы были завершены 31 декабря 2004 г. Вторая редакция программы рассчитана на 2005–2006 годы. Если рассмотреть цели и задачи на каждом этапе, то можно утверждать, что нынешняя редакция — это принципиально новая программа, и хотя она сохранила прежнее название, но имеет ярко выраженный инновационный характер. В ней предусмотрены мероприятия, направленные на развитие элементов национальной инновационной системы, просматривается цепочка от генерации знаний до коммерциализации получаемых результатов, четко прописана и выполняется ориентация на приоритеты (их шесть) и многое другое, что впервые внесено в документ. В настоящее время делается, как мне кажется, достаточно удачная попытка претворить все задуманное в жизнь».

Тип возобновляемых источников энергии	Производство энергии				Выделенные в 1997–2010 гг. капитальные затраты для достижения уровня выработки энергии к 2010 г., \$ млрд.
	1995 г.		2010 г.		
	млн. т н.э.	%	млн. т н.э.	%	
Ветроэнергетика	0,35	0,5	6,9	3,8	34,56
Гидроэнергетика	26,4	35,5	30,55	16,8	17,16
Фотоэлектрическая энергетика	0,002	0,003	0,26	0,1	10,8
Биомасса	44,8	60,2	135	74,2	100,8
Геотермальная энергетика	2,5	3,4	5,2	2,9	6
Солнечные тепловые коллекторы	0,26	0,4	4	2,2	28,8
ВСЕГО	74,3	100	182	100	198,12

Таблица 1. Выработка тепловой и электрической энергии из возобновляемых источников энергии в странах ЕС

урана хватит лишь на 41 год, а с учетом трудно добываемого урана — на 64 года. Использование плутония или реакторов-размножителей на быстрых нейтронах, безусловно, увеличит этот срок, но не изменит ситуацию.

Суммарные потребности в первичных энергоресурсах возрастают год от года. Только при условии полного их удовлетворения возможны социальное развитие и экономический рост той или иной страны. Традиционные

1. Топливный бункер: разовой загрузки достаточно для работы газогенератора в течение 6–20 часов; 2. шнековый дозатор в автоматическом режиме производит подачу топлива в рабочую зону газогенератора из топливного бункера; 3. система пожаротушения предотвращает возгорание топлива в бункере; 4. газогенератор, где происходит преобразование топлива в горючий газ. Газогенераторная установка оснащена автоматикой, защищающей от перегрузки двигателя, от переполнения толки и системы пожаротушения. Габаритные размеры: длина — 2535 мм, ширина — 1325 мм, высота — 1800 мм. Масса — не более 1450 кг. Когенераторная установка представляет собой газопоршневой электроагрегат (рис. 2 на стр. 89) с теплообменным оборудованием для утилизации тепла охлаждающей жидкости и выхлопных газов.



Рис. 1. Газогенераторная установка

подходы к использованию энергии становятся неприемлемыми. Перед учеными стоит важнейшая задача — генерировать энергию без отрицательных последствий для окружающей среды. По мнению экспертов МИРЭС, в ближайшие 50 лет наряду с необходимостью существенного повышения эффективности традиционных способов производства энергии следует активно внедрять возобновляемые источники энергии: солнечную энергию, кинетическую энергию ветра, воды и биомассы, тепловую энергию грунта и водоемов (в том числе и геотермальную).

Внедрение возобновляемых источников энергии потребует существенных перемен в мировом топливно-энергетическом комплексе. Поэтому ближайшие 30 лет станут важной переходной фазой для реализации долгосрочных целей.

Производство энергии из возобновляемых источников динамично развивается в большинстве европейских стран. В 1995 г. в странах ЕС на долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приходилось 74,3 млн. т нефтяного эквивалента (т н.э.), что составляло около 6% общего потребления первичных энергоносителей (ОППЭ) (табл. 1). Из них на долю биомассы приходилось более 60%, что эквивалентно около 3% ОППЭ. В отдельных странах соотношение биомассы в ОППЭ значительно превышает среднеевропейские показатели: в США ее доля составляет 3,2%, в Дании — 8%, в Австрии — 11%, в Швеции — 19%, в Финляндии — 21%. В соответствии с программой развития ВИЭ (White Paper), в странах ЕС биомасса будет покрывать около 74% общего вклада ВИЭ в 2010 г., что будет эквивалентно около 9% ОППЭ. Биомасса сегодня является четвертым по значению топливом в мире, давая ежегодно 1250 млн. т у.т. энергии и составляя около 15%

всех первичных энергоносителей (в развивающихся странах — до 38%).

### Национальные особенности

В нашей стране топливно-энергетический комплекс обладает рядом особенностей. Отдаленные поселки и населенные пункты, где по некоторым оценкам проживает около 20 млн. человек, не присоединены к системам центрального электроснабжения. Для них электро- и теплоснабжение на базе ВИЭ станет залогом успешного решения многих социальных проблем и развития этих территорий. Россия располагает огромными биоресурсами, включая лесонасаждения, сельскохозяйственные и лесные отходы. По состоянию на 1 января 2001 г. в стране насчитывалось 406 млн. га сельскохозяйственных земель (23,8% от общей земельной территории) и 1097 млн. га лесистой местности (64,1% от общей земельной территории). Россия ежегодно производит биомассу, пригодную для энергетического производства, в виде отходов: древесины — 800 млн. т, лесных отходов — 70 млн. т, отходов сельского хозяйства — 250 млн. т, и только малая часть используется для получения тепловой энергии.

Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр ветроэнергетики СОВЭНА» — преемник Межрегиональной ассоциации «Энергобаланс», образованной в 1989 г. ЗАО НТЦВ «СОВЭНА» специализируется на организации и реализации проектов по созданию систем и комплексов энергоснабжения с использованием возобновляемых ресурсов, участвовало в семи проектах государственной научно-технической программы «Экологически чистая энергетика» по разработке оборудования для использования ВИЭ.

«СОВЭНА» занималась реализацией ряда региональных проектов: ветрогидрокомплекс «Джунгарские ворота» (Казахстан), автономные ветрогидроэлектростанции в Хабаровском крае (Полевое) и Якутии (Чокурдах, прииск Кулар, о. Большевик), Новороссийская и Азово-Черноморская ветроэлектростанции.

ЗАО «СОВЭНА» принимало участие в организации и реализации международного проекта по созданию комплекса автономного энергоснабжения на основе ветроагрегатов в Ростовской области (программа «Эльдорадо») 1992–1997 гг. Кроме того, ЗАО «СОВЭНА» принимало участие в работах в рамках Федеральной целевой научно-технической программы РФ и программы Москвы «Энергосбережение-М», в создании установок для получения генераторного газа путем газификации органических отходов и торфа, в сооружении установок по переработке отходов животноводства и птицеводства в Московской и Владимирской областях.



Рис. 2. Газопоршневой агрегат

Системы автономного энергоснабжения на основе комбинированного использования возобновляемых ресурсов и современных систем аккумулирования и генерирования энергии не имеют промышленного применения. Действительно, для этих систем потребуются больше финансовых затрат, чем на поддержание существующих систем энергоснабжения. Если же оценить стоимость реконструкции изношенных объектов и стоимость системы автономного энергоснабжения с учетом перспектив и динамики изменения цен на традиционные энергоносители и местные возобновляемые ресурсы, то чаша весов склонится к последним. Кроме того, эксплуатационные предприятия не обладают опытом в оценке соотношения реального потенциала местных возобновляемых ресурсов и нужд потребителя. Поэтому разработка системы автономного энергоснабжения, оценка ресурсов и оптимизация структуры энергопотребления должна проводиться разработчиком совместно с эксплуатирующей этот объект организацией.

### На старте

В настоящее время завершаются проектные работы и комплектация двух пилотных образцов систем электрической мощностью 30 и 100 кВт, тепловой — 45 и 160 кВт соответственно, работающих на древесных отходах. Срок окупаемости — 2,5 года. В 2006 г. будет производиться монтаж оборудования.

Системы состоят из газогенераторной установки (рис.1), системы очистки газа, ресивера (емкость для газа) и когенераторной установки. Составные части имеют разные характеристики для каждого уровня мощности, а сами образцы систем допускают увеличение мощности простым набором необходимого числа модулей любой мощности. ■

Целиков В.В. — руководитель проекта  
Суслова О.А. — аспирант

Татьяна Потапова

# КОЛЕНКА — ВИД ИЗНУТРИ



Плечевой сустав с артроскопическим инструментом внутри

Боли в коленных суставах сопровождают человечество с незапамятных времен. Даже Булгаков не смог предложить всемогущему Воланду для избавления от боли в колене ничего, кроме нежных рук Маргариты и волшебной мази с болотным запахом. Современная наука делает уверенные шаги на пути решения этой многовековой

проблемы, а бурное развитие медицинской техники и совершенствование методик инвазивного и неинвазивного воздействия расширяют возможности врача.

Артроскопия (эндоскопическое исследование суставов) например, благодаря появлению волоконной оптики, новых линзовых систем, видеотехники, артроскопов малых

диаметров, артроскопических хирургических инструментов, позволяет не только диагностировать, но и лечить практически все суставы.

Первое артроскопическое исследование было проведено в 1918 г., но в нашей стране публикации об эндоскопических исследованиях суставов появились лишь в конце 1970-х гг. (О.А. Ушакова, 1976; Ф.Ю. Фалех, 1978; Э.С. Миронова с соавт., 1979, 1980; Л.В. Лучихина, 1980, 1981).

«Если изначально артроскопические исследования использовались в травматологии и ортопедии, то в последние 10–15 лет их применяют при диагностике и лечении ряда ревматических заболеваний. Крайне важно, что во время данной процедуры могут быть выполнены прицельная биопсия и микроскопия внутрисуставных структур, что позволяет получить представление о выраженности патологического процесса и его динамике под влиянием терапии», — считает заведующая артроскопическим кабинетом факультетской терапевтической клиники Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова (ММА), кандидат медицинских наук Ирина Вадимовна Меньшикова.

Артроскопия проводится в условиях асептики в операционной под местной анестезией. Процедура длится 40–60 минут, но при необходимости хирургических манипу-

ляций внутри сустава операция может продолжаться до 1,5–2 часов.

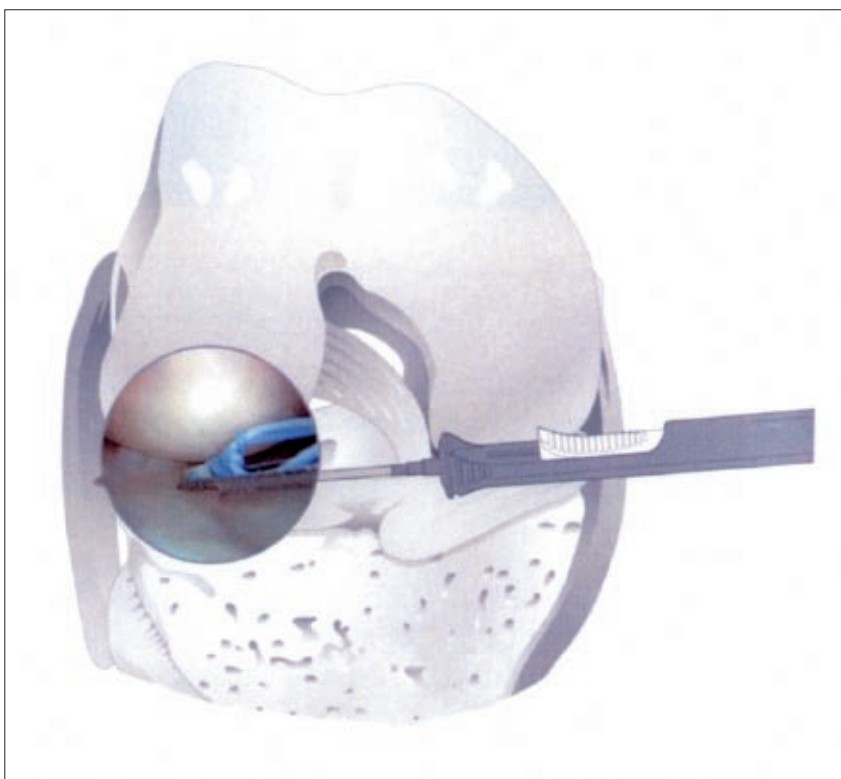
Вначале артроскоп вводят в верхний заворот сустава ноги и осматривают синовиальную оболочку, надколенник, пателло-фemorальное сочленение и суставную поверхность бедренной кости. Затем аппарат переводят в медиальный отдел сустава (когда он находится в согнутом положении 90°), где осматривают медиальный мышцелок бедра, мениск, плато большеберцовой кости и, наконец, межмышцелковое возвышение и оценивают состояние передней, частично задней крестовидных связок, а также наружный отдел сустава.

В норме суставной хрящ гладкий, блестящий, голубоватого цвета, упруго-эластичный. Его размягчение можно оценить только визуально по изменению цвета хрящевой поверхности и с помощью инструмента при ощупывании. Вот почему диагностическая ценность артроскопии намного выше, чем у таких более известных методов, как рентгеноскопия и ультразвуковое исследование, и даже чем у таких ультрасовременных методов, как компьютерная и маг-

## Артроскопия по праву считается «золотым стандартом» для оценки состояния суставного хряща

нитно-резонансная томография. Артроскопия по праву считается «золотым стандартом» для оценки состояния суставного хряща. Однако использование артроскопии диагностикой отнюдь не ограничивается.

На сегодняшнем методическом уровне щадящие малоинвазивные



Микрохирургическая операция на коленном суставе под артроскопическим контролем

артроскопические технологии представляют серьезную альтернативу традиционным «открытым» методам для выполнения большинства операций на суставах, считает ортопед-травматолог Сергей Александрович Сергиенко. Только в MMA ежегодно проводится около 200 подобных операций. Инструменты с программным управлением позволяют под артроскопическим контролем удалять поврежденные фрагменты тканей, накладывать швы внутри сустава, помещать и фиксировать трансплантаты. Орошение полости сустава в процессе выполнения артроскопии оказывает мощное противовоспалительное действие, так как способствует вымыванию различных патологических включений, воспалительных ферментов, фибрина. С помощью артроскопической техники можно провести реконструкцию поврежденных связок коленного сустава и восстановить поврежденный мениск.

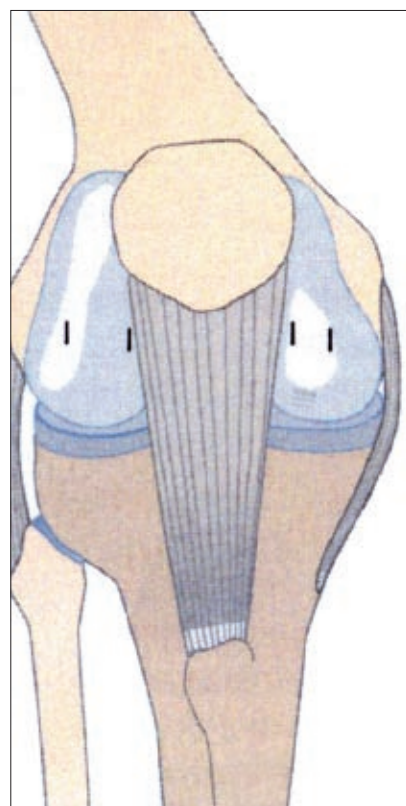


Схема коленного сустава

## другому как понять тебя?

Передо мной две книги — такие разные и такие похожие: Б.М. Медников «Избранные труды: Организм, геном, язык» и «Языки науки — языки искусства». Не пересекаясь в содержании, они удивительным образом едины в утверждении многогранности и многомерности мира.

Б.М. Медников (1932-2001) — ученый-энциклопедист, теоретик и популяризатор биологической науки. В сборнике — статьи разных лет и главы его незавершенной монографии, посвященной поиску аналогий в механизмах биологической и культурной эволюции. Главная тема второй книги — проблемы взаимопонимания различных языков культуры, многообразие жанров и стилей как проявление профессиональной свободы, обсуждавшиеся на Международной конференции в Суздале в июне 2002 г.

Первая книга Б.М. Медникова — это увлекательное путешествие по



**Б.М. Медников.**  
**Языки науки — языки искусства.**  
Москва—Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 448 с.

стране «Биологии» с описанием целого ряда событий в этой области, преобразованных автором в поэтичные литературные тексты. В сборнике приведен обширный объем фактических данных, одновременно восхищает чистота и яркость красок языковой палитры.

В 1975 г. люди, весьма далекие от биологии, зачитывались книгой Б.М. Медникова «Дарвинизм в XX веке». Но тогда она вышла в издательстве «Советская Россия» тиражом 50 тыс. экз. Жаль, что «Избранные труды» при тираже 1000 экз. будут доступны лишь немногим читателям. То же самое можно сказать и о втором сборнике.

Организаторы Суздальских конференций из серии «Нелинейный мир» самоотверженно пытаются пробить барьеры разобщенности между представителями разных областей культуры. Разнообразие тем, представленных в сборнике, ничуть не мешает следить за движением мысли авторов, свободно перенося нас от религиозной живописи к культурологии современного здравоохранения, от диалога эстетик Мориса Эшера и Владимира Набокова к энергии мыслящего тела, от обсуждения власти страха и власти над страхом к проблемам синергетики. Гармония и симметрия, музыка и мозг, язык животных и гимн квадрату органично сосуществуют в сборнике.

З.Е. Журавлева — писатель, страстный путешественник и азартный мыслеисследователь, предваряет и включает книгу мудрыми и добрыми комментариями, искусно вплетает фрагменты переписки между авторами после конференции.

Завершает сборник мемориальный раздел: короткие биографии, эссе, статьи. Ю.Л. Климонтович (1924-2002), в трудах которого достигнуты



**Б.М. Медников. Избранные труды: Организм, геном, язык.** М.: Т-во научных изданий КМК., 2005. 452 с.

огромные успехи в развитии физики нелинейных систем. В.В. Корона (1948-2001), начинавший как физик-биолог растений и последовательно, через философско-методологическое осмысление морфологии растений, пришедший в филологию, к разработке принципов и методики структурного анализа художественных текстов. Б.В. Раушенбах (1915-2001) — академик, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Демидовской премий, широко известный не только разработками в области авиации и ракетной техники, но и исследованиями теории перспективы в изобразительном искусстве.

Материалы Суздальского сборника дают возможность ощутить прикосновение к тайне жизни творцов современной культуры. Обе книги возвращают нас к такой мало востребованной в современной обыденной жизни функции языка, как выражение мысли.

Татьяна Потапова

## победы и поражения Елены Блаватской

Известный московский поэт и индолог, доктор филологических наук Александр Сенкевич органично объединил в художественное целое авантюрный, философский и биографический пласты. Судьба Елены Блаватской в эпоху вновь вспыхнувшего массового увлечения мистикой обретает особую актуальность. Сенкевич показывает на широком историко-культурном фоне личностные причины интуитивной тяги Е. Блаватской к эзотерике, открывает тайные мотивы, вдохновившие ее на создание теософского общества, по сути развенчивая фигуру, поднимаемую на пьедестал многочисленными поклонниками уже не одно десятилетие. Читателю открывается страдающая, мечущаяся, противоречивая натура, мечтающая не только о взаимной любви и всемирной славе, но и о приобщении к неверно понимаемой духовности. Заметна внутренняя ориентация автора на лучшие

традиции классической русской литературы — философского полифонического романа, психологической прозы. Искушенный читатель высоко оценит повествовательную манеру автора, который рассказывает о судьбе Елены Блаватской ярко и вдохновенно, сумев в романе о напряженной борьбе идей в мировой культуре избежать сухой терминологичности. Борис Эйхенбаум предложил рассматривать литературный процесс как осознание себя в потоке истории. Развивая эту мысль, можно утверждать, что роман Сенкевича «Елена Блаватская. Мистика судьбы» способен уберечь тысячи читателей от пагубного увлечения мистическими экспериментами над своей душой и жизнью, показав трагическую обреченность одаренных людей, не выдержавших искушения всемирной славой и выбравших служение ложным кумирам.

Лола Звонарева



А.Н. Сенкевич. Елена Блаватская. Мистика судьбы. Серия: Гении и злодеи. М.: Яуза, Эксмо, 2005. 448 с.

## неизвестный Эйнштейн

Минувший год был объявлен ООН Годом физики и Эйнштейна, в связи с чем появилось множество публикаций, среди которых и этот сборник, чей автор и главный герой — Альберт Эйнштейн. Книга представляет не биографию и не популярное изложение научных идей великого ученого, а скорее его мировоззрение, а именно — концепцию еврейства, пропаганда которой потребовала больше усилий, чем популяризация теории относительности. В обстановке предвоенной Германии Эйнштейн утверждал, что осознать себя евреем значит признать свою самоценность и стать свободным. Для

Эйнштейна евреи были нацией, превыше всего ценящей сокровища духа, сумевшей сохранить и прумножить мудрость поколений. Именно поэтому он поддерживал идею обретения «национального очага» на земле Израиля, говорил о своем неприятии антисемитизма, бесплатно читал лекции по физике евреям из Восточной Европы, сотрудничал с Еврейским университетом в Иерусалиме, которому завещал весь свой архив. Помещенные в книгу речи и выступления Эйнштейна по еврейскому вопросу существенно дополняют и углубляют хрестоматийный обзор гениального физика.



Альберт Эйнштейн: Обрести достоинство и свободу. М.: Мосты культуры/Гешарим, 2006. 254 с.

## история и философия экономики


Книга адресована в первую очередь аспирантам и соискателям ученой степени кандидата экономических наук, а также студентам экономических вузов и факультетов, преподавателям. Спрос на литературу такого рода резко возрос после недавнего введения Высшей аттестационной комиссией России нового экзамена кандидатского минимума — «История и философия науки» (в данном случае — экономики).

Предлагаемое пособие выгодно отличается от уже изданных. Оно содержит наиболее полное изложение необходимого материала для подготовки к сдаче кандидатского экзамена. Это история мировой экономики от экономического развития стран Древнего Востока, античной

экономики до экономики России и стран Восточной Европы в период реформ (1991–2000 гг.), история экономических учений от экономической мысли Древней Греции и Древнего Рима, первых экономических школ меркантилизма, физиократов до экономического учения Дж. Кейнса, неоллиберализма и монетаризма. И в завершение — большой раздел «Философия экономики», с обстоятельным анализом философско-экономических взглядов представителей античной философии, философов Средневековья, эпохи Возрождения, Нового времени, Просвещения, представителей классической немецкой философии, марксизма, наиболее значимые направления философского осмысления экономики XX века.



**История и философия экономики.** Пособие для аспирантов/под ред. д. эк. н., проф. М.В. Конотопова. М.: Кнорус, 2006. 664 с.




**ТЕХНОСФЕРА**  
рекламно-издательский центр

# НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"

электроники

и физики  
и биологических наук




Б. Эггинс  
**Химические и биологические сенсоры**

*Первое учебное пособие в новой области на стыке аналитической химии, электроники, физики и медицины.*

Особенно подробно описаны электрохимические, оптические, гравиметрические, температурные сенсоры, распознавание ионов и молекул, "лаборатории-на-чипе". Для студентов и специалистов в областях медицинских и биотехнологий, пищевой промышленности и контроля окружающей среды, микробиологов, специалистов, разрабатывающих и применяющих микроаналитические системы.

МИР ХИМИИ

Физическая химия.  
Принципы и применение  
в биологических науках



И. Тинок, К. Зауэр, Дж. Вэнг, Дж. Паглиси  
**Физическая химия. Принципы и применение в биологических науках.**

*Уникальная монография по использованию методов физической химии для решения самых разнообразных проблем биохимии. Авторы убедительно показывают, что многочисленные формулы термодинамики — не просто гимнастика ума, а вещи весьма полезные и даже необходимые для биологов. В книге так же тщательно и подробно излагаются основы коллоидной химии, кинетики, описываются спектроскопические методы, рентгеноструктурный анализ и электронная микроскопия и все это также с оригинальными и запоминающимися биофизическими примерами на молекулярном уровне.*

Принимаются заявки на книги с доставкой по России наложенным платежом или с предоплатой по счету. По почте: 125319 Москва, а/я 594, издательство "Техносфера" По факсу: (495) 9563346 E-mail: knigi@technosphaera.ru Полная информация о всех вышедших и готовящихся к печати книгах находится на сайте [www.technosphaera.ru](http://www.technosphaera.ru)



ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN **В мире науки**

www.sciam.ru  
 Подробности по телефонам:  
 105-03-72 и 727-35-30



*В 2006 году выходит в свет сборник лучших материалов журнала «В мире науки», посвященный тайнам сознания человека и процессам, происходящим в мозге*



SCIENTIFIC AMERICAN  
 в мире науки  
**МОЗГ И СОЗНАНИЕ**  
 АЛЬМАНАХ  
 Нейробиология  
 Структуры и функции  
 Поведения  
 Наука в человеке

Читайте в следующем выпуске журнала:

## УЗЕЛКОВЫЙ КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР

Сплетая траектории причудливых квантовых частиц, можно производить вычисления, с которыми не справится ни один классический компьютер

## СРЕДСТВО ПРОТИВ РЕЗИСТЕНТНОСТИ БАКТЕРИЙ К АНТИБИОТИКАМ

Прервать цепочку событий, ведущих к невосприимчивости бактерий к антибиотикам, поможет вещество, защищающее от разрушения один из бактериальных белков

## ЗАЩИТА ОТ РОТАВИРУСА

Ротавирус — основной возбудитель инфекционного заболевания, сопровождающегося тяжелой диареей у детей и становящегося частой причиной их гибели. Сегодня наконец-то появились вакцины, способные поставить этому патогену надежный заслон

## ПОЧЕМУ ОДНИ ЖИВОТНЫЕ УМНЕЕ ДРУГИХ?

Что способствовало эволюции уникальных интеллектуальных способностей человека — точнее, наших предков-гоминидов?

## ГИБРИДНЫЕ АВТОМОБИЛИ

Автомобили с гибридным двигателем недавно появились на рынке, но уже пользуются большой популярностью у покупателей

## ЗАГАДКА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Новые наблюдения приподнимают завесу тайны над спусковым механизмом мощнейших взрывов, происходящих в атмосфере Солнца

## ГЛОБАЛИЗАЦИЯ И БЕДНОСТЬ

Глобализация — благо для бедняков мира или наносит им вред? Ответ: и то, и другое. Вопрос по существу состоит в том, как сделать помощь максимальной и минимизировать ее возможные отрицательные последствия



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

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые Вы хотите получить, а также Ваш полный почтовый адрес.
2. Оплатить заказ/подписку в отделении Сбербанка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже).  
Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.
3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:
  - по адресу 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22, редакция журнала «В мире науки»;
  - по электронной почте [distr@sciam.ru](mailto:distr@sciam.ru);
  - по факсу 105-03-72.

Подписку можно оформить со следующего номера.

### БЛАНК ЗАКАЗА ПРЕДЫДУЩИХ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

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

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

Ф.И.О. \_\_\_\_\_  
 Индекс \_\_\_\_\_  
 Область \_\_\_\_\_  
 Город \_\_\_\_\_  
 Улица \_\_\_\_\_  
 Дом \_\_\_\_\_ Корп. \_\_\_\_\_ Кв. \_\_\_\_\_  
 Телефон \_\_\_\_\_  
 E-mail: \_\_\_\_\_

Цена за один номер журнала **65 руб. 00 коп.**

### БЛАНК ПОДПИСКИ

- Я хочу подписаться на 6 номеров журнала «В мире науки» и плачу **540 руб. 00 коп.**
- Я хочу подписаться на 12 номеров журнала «В мире науки» и плачу **1080 руб. 00 коп.**

Цена за один номер журнала по подписке в 2006 г. **90 руб. 00 коп.**

Ф.И.О. \_\_\_\_\_  
 Индекс \_\_\_\_\_  
 Область \_\_\_\_\_  
 Город \_\_\_\_\_  
 Улица \_\_\_\_\_  
 Дом \_\_\_\_\_ Корп. \_\_\_\_\_ Кв. \_\_\_\_\_  
 Телефон \_\_\_\_\_  
 Дата рождения \_\_\_\_/\_\_\_\_/20\_\_\_\_

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

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

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Плательщик		

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

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

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Плательщик		

### ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ МОЖНО:

- по каталогам «Пресса России», подписной индекс 45724; «Роспечать», подписной индекс 81736; изданий органов НТИ, подписной индекс 69970; «Почта России», подписной индекс 16575
- на Украине по каталогу подписных изданий агентства KSS, подписной индекс 69970
- Все номера журналов можно купить в редакции журнала по адресу: ул. Радио, дом 22, комн. 409, тел./факс (495) 105-03-72
- В ООО «Едиториал УРСС» по адресу: проспект 60-летия Октября, д. 9, оф. 203, тел./факс (495) 135-42-16.
- В книжных магазинах научного центра «ФИЗМАТКНИГА» (тел. 409-93-28): г. Долгопрудный, новый корпус МФТИ; г. Зеленоград, МИЭТ, 4-й корпус
- В интернет-магазинах: [www.ozon.ru](http://www.ozon.ru), [www.setbook.ru](http://www.setbook.ru), [www.urss.ru](http://www.urss.ru).

