

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sciam.ru

№8 2011

ЖИЗНЬ В КВАНТОВОМ МИРЕ

БИОТЕХНОЛОГИИ

МЯСО ИЗ ПРОБИРКИ

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ

СТРАХОВКА ОТ ЧЕРНОГО ЛЕБЕДЯ

ДНЕВНИК САММИТА

**НАУКА: ВЧЕРА,
СЕГОДНЯ...
ЗАВТРА?**

ISSN 0208-0621



11008



9 770208 062001



Журнал выходит при поддержке
МГУ имени М.В. Ломоносова



4



40



22

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- | | | | |
|----|--|----|---|
| 4 | САММИТ
НАУКА: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ
ЗАВТРА?
<i>Эвелина Закамская</i>
<i>Жорес Алферов, Сергей Капица, Мэриэтт Ди
Кристина, Игорь Агамирзян – о прошлом,
настоящем и будущем мировой науки</i> | 30 | Биология
В ЧЕСТЬ НОБЕЛЕВСКИХ
ЛАУРЕАТОВ
<i>Составитель: Феррис Дабр</i>
<i>Выдержки из статей некоторых удостоенных
высшей награды ученых, когда-то
напечатанных в нашем журнале</i> |
| 10 | ПИСЬМО ДЛЯ МИРОВОЙ НАУКИ
<i>Борис Долгин</i>
<i>Что нужно знать и уметь, чтобы
опубликовать статью в международном
научном журнале</i> | 40 | Нейронауки
ТЕСТ НА ПОНИМАНИЕ
<i>Кристоф Кох и Джулио Тонони</i>
<i>Когда будет создан компьютер,
обладающий сознанием, и как мы узнаем
об этом?</i> |
| 14 | ФИЗИКА
ЖИЗНЬ В КВАНТОВОМ МИРЕ
<i>Влатко Ведрал</i>
<i>Квантовая механика описывает не только
поведение мельчайших частиц – ее законы
действуют в телах всех размеров</i> | 46 | Молодая наука
ТВОРЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ
<i>Алексей Торгашев</i>
<i>Екатерина Шишацкая: «Это трудно – быть
в науке»</i> |
| 22 | Атомная энергия
СТРАХОВКА
ОТ ЧЕРНОГО ЛЕБЕДЯ
<i>Адам Пьоре</i>
<i>Масштабная авария на АЭС «Фукусима-1»
привлекла всеобщее внимание
к американским ядерным реакторам нового
поколения. Так ли они безопасны?</i> | 54 | Клеточная биология
КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ХАОС
В ЦАРСТВЕ БЕЛКА
<i>Кит Данкер и Ричард Кривацки</i>
<i>Считалось, что для выполнения своей
миссии белки должны иметь четкую
пространственную организацию. Однако
реальная картина оказывается гораздо
сложнее</i> |



72



88



80

62

БИОТЕХНОЛОГИИ

МЯСО ИЗ ПРОБИРКИ

Джеффри Бартолет

Как потчевать человечество ароматными стейками, не разрушая при этом планету? Возможно, ответ кроется в чашке Петри

70

МИКРОБИОЛОГИЯ

САМАЯ УМНАЯ БАКТЕРИЯ НА ЗЕМЛЕ

Анна Качмент

Представители одного из видов почвенных микроорганизмов оказались способны принимать разумные совместные решения

72

ИСТОРИЯ НАУКИ

СЛАВА ПЕРВООТКРЫВАТЕЛЕЙ

Эдвард Ларсон

В гонке к Южному полюсу британский исследователь Роберт Скотт не стал отказываться от своей обширной научной программы

80

АРХЕОЛОГИЯ

СОКОТРА: СУДЬБА ИЗОЛЯТА

Владимир Агафонов

Драконово дерево, алоэ и палеоантропологическая сенсация

РАЗДЕЛЫ:

От редакции

БУДУЩЕЕ С НАУКОЙ

3

88

СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

93

50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

94

ФОРУМ



62

Учредитель и издатель: ООО «Капица и Партнеры»
Некоммерческое партнерство «Международное партнерство
распространения научных знаний»

Главный редактор, Президент координационного совета
Некоммерческого партнерства «Международное партнерство
распространения научных знаний»: С.П. Капица

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

Зав. отделом естественных наук: В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских
исследований: Ю.Г. Юшквичюте

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Главный редактор сайта журнала «В мире науки»: В.Ю. Чумаков

Обозреватель: В.Ю. Чумаков

Научные консультанты:
Доктор медицинских наук Е.И. Шишацкая

Над номером работали:
В.М. Агафонов, А.Я. Басова, А.Н. Божко, А.В. Ващенко,
Б.С. Долгин, Э. Закамская, Б.А. Квасов, Т.А. Митина,
А.И. Прокопенко, И.Е. Сацевич, В.И. Сидорова, А.А. Сорокин,
О.А. Сорокина, Н.Н. Шафрановская

Арт-директор: С.Б. Кедис

Дизайнер: Я.В. Крутий

Корректора: Я.Т. Лебедева

Генеральный директор
АНО «Телекомпания "Очевидное-Невероятное"»: С.В. Попова

Директор Управляющей компании: И.Г. Арданов

Директор Некоммерческого партнерства «Международное
партнерство распространения научных знаний»: С.В. Попова

Главный бухгалтер: Д.В. Сухоносова

Адрес редакции:
Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138
Тел./факс: (495) 939-42-66
e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

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

Отпечатано: ЗАО «ПК "Экстра М"».
Заказ №8: 11-07-00257

© В МИРЕ НАУКИ

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати. Свидетельство
ПИ №ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

Тираж: 12 500 экземпляров

Цена договорная.

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



SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Acting editor in chief: Mariette DiChristina

Editors: Davide Castelvecchi, Mark Fischetti, Christine Gorman,
Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Kate Wong

Chief news editor: Philip M. Yam

Senior writer: Gary Stix

Contributing editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins,
John Rennie, Sarah Simpson

Art director: Ian Brown

President: Steven Inchcoombe

Vice president, operations
and administration: Frances Newburg

Executive Vice President: Michael Florek

Vice president and publisher: Bruce Brandfon

© 2007 by Scientific American, Inc.

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

НАШИ ПАРТНЕРЫ:



PETER



SERVICE



«ТЕЛЕКОМПАНИЯ "ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ"»



БУДУЩЕЕ С НАУКОЙ

Спустя десятилетие после распада Советского Союза в 1991 г. лозунгом современной России стала модернизация в науке как жизненно важный ресурс. Этой весной в Москву на ежегодную встречу *Scientific American* съехались представители 14 национальных изданий. Принимающая сторона дала возможность ознакомиться с задачами и проблемами, касающимися науки.

У журнала *Scientific American* в России продолжительная история: издание переводится уже в течение 28 лет. Главный редактор журнала – Сергей Капица, известный ученый, бессменный ведущий научно-популярной программы, занимающийся просветительской деятельностью, поистине российский Карл Саган.

После того как развалилась советская система, наука оказалась отодвинутой на задний план. На повестке дня стояли другие проблемы, требующие безотлагательного решения. Ученые лишились финансирования, потеряли былой высокий социальный статус. Таким образом, разрушился фундамент уже существующей научной мысли. Около 35 тыс. ученых были вынуждены эмигрировать, что стало серьезной потерей для государства, которое сегодня пытается восполнить образовавшуюся брешь с помощью целенаправленных научных программ.

В настоящее время ОАО «РОСНАНО» выделяет около 318 млрд руб. (\$11 млрд) на государственно-частное партнерство, направленное на создание независимой наноиндустрии к 2015 г. Нанотехнологическая продукция сегодня составляет всего 2% от всего рынка. «Наша задача заключается в том, чтобы построить мост между наукой и бизнесом и развивать нанотехнологии в про-

мышленности», – отметил руководитель РОСНАНО Анатолий Чубайс на встрече с представителями SA.

Из 2 тыс. заявок, поданных на финансирование, 111 компаний получили от РОСНАНО поддержку, предполагающую создание производственных мощностей. Для того чтобы привлечь внимание наших ученых, уехавших в свое время за границу, а также зарубежных исследователей к научным изысканиям в России, государство объявило о новой системе мегагрантов. Общая сумма финансирования по этой программе составила 12 млрд рублей (около \$433 млн).

Академик РАН Владимир Фортов отметил: «Деньги могут помочь, но российская наука по-прежнему страдает от удушающей бюрократии, от того, что ученые получают низкие зарплаты. Исследователи должны заполнять множество документов, чтобы получить основное оборудование, что становится препятствием для дальнейшего развития, переход к новым технологиям также затруднен».

Несмотря на существующие проблемы, Россия осознает, что если способствовать развитию науки сегодня, то в будущем ее ждет успех, и выделяет значительные финансовые средства для достижения этой цели. Это также повод к размышлениям для США, чутко реагирующих на изменения в своем бюджете. Ведь в течение длительного времени Америка получала пользу от инвестиций, сделанных ранее в фундаментальные научные исследования. ■

Мариэтт Ди Кристина
главный редактор журнала *Scientific American*



НАУКА: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ...ЗАВТРА?

РОССИЯ 1

Главные информационные партнеры – телеканалы «**РОССИЯ-1**» и «**РОССИЯ-24**»

РОССИЯ 24

Собрать за круглым столом нобелевского лауреата, ведущего старейшей телепрограммы и героя Книги рекордов Гиннеса, главного редактора самого известного и авторитетного в мире научно-популярного журнала и главу самой крупной в стране венчурной компании – это, уверяю вас, несомненная журналистская удача. Саммит руководителей международных изданий *Scientific American*, прошедший в Москве в начале июня, стал не только событием, «известным в своих кругах», но и темой большой телевизионной программы на канале «**Россия-24**».

Итак, **Жорес Алферов, Сергей Капица, Мариэтт Ди Кристина, Игорь Агамирзян** говорили о прошлом, настоящем и будущем мировой науки. И вот каким оно им показалось

Мариэтт Ди Кристина:

Российская наука довольно долго работала отдельно от американских ученых и вообще от мировой науки. Но как бы ни старались политики, наука имеет международный и наднациональный характер.

Благодаря журналу «В мире науки» (наше сотрудничество началось в 1983 г.) американцы многое узнали о российской науке. Я помню, у вас были статьи о раскопках Новгорода и о берестяных грамотах. Это было потрясающее открытие в археологии, когда анализу стала доступна не летописная, а нормальная жизнь

людей. Ведь все ваши берестяные грамоты – это прямой аналог нынешних СМС. Поразительные документы культуры. Потом была замечательная статья о сверхглубоком бурении. У вас было четыре сверхглубоких скважины, самая известная, на 12 км – на Кольском полуострове. И фотография этой знаменитой скважины была на обложке всей семьи наших журналов.

Scientific American – журнал международный. Он переводится на 15 языков и выходит в Японии, Бразилии, Китае, Индии, Кувейте, Германии, Испании, Италии и во многих других странах. Такое общение, ко-

НАШИ ПАРТНЕРЫ:



РОСНАНО



нечно, помогает ученым во всем мире. Для России сегодня очень важно, чтобы российские ученые возвращались в свою страну. Я с этим согласна, ведь несмотря на международный характер науки у каждого государства есть своя специализация и свои интересы. Например, Соединенные Штаты вкладывают деньги в альтернативную энергетику, Россия продолжает развивать нефтегазовую энергетику, делая упор на энергосбережении и энергоэффективности. И пока непонятно, какая модель в итоге выигрывает. Но не думаете ли вы, что наука и в соревновании, и в конкуренции старается не столько получить прибыль, сколько улучшить наше общество? То есть мы конкурируем потому, что хотим достичь большего. Если бы мы работали независимо, то это иногда было бы полезно, иногда – нет. Иногда нужно быть вместе для того, чтобы достичь лучших результатов, иногда – по отдельности развивать параллельные самостоятельные проекты.

Вместе с тем нас ждут и общие открытия. Я надеюсь, например, что в следующем году Большой адронный коллайдер поможет нам понять, что такое темная материя. Кроме того, есть еще множе-

ство более приземленных вопросов, требующих решения. Создание новых лекарств, изменение климата – это глобальные вызовы всему человечеству.

Сергей Капица:

Вы знаете, в Советском Союзе, несмотря на строжайший контроль, мы были свободны. У нас была договоренность с американцами, что журнал переводится от корки до корки, кроме статей, не интересных русским читателям. Но по всем фундаментальным вопросам были мощные материалы. Мы печатали американские статьи о современном ракетно-ядерном арсенале, о СПИДе. Многие серьезные люди оказывали нам весомую поддержку в этом деле. У меня были хорошие связи с Отделом пропаганды ЦК, которым долгое время руководил А.Н. Яковлев. У него была мощная команда. Потом его отправили послом в Канаду, где мы с ним, кстати, и познакомились, а его люди в аппарате остались. Без их политической поддержки мне вряд ли удалось бы то, что я делал. А с ними я был не ограничен практически ни в чем. Мне сказали: «Ты делай, а мы будем смотреть, что ты делаешь».



POLIT.RU



Меня это устраивало, и их тоже. Был у меня разговор и с С.Г. Лапиным, председателем Гостелерадио СССР. Он мне так сказал: «Вы будете одним из немногих людей, которых будут слушать страна и семнадцать членов Политбюро. Они будут слушать вас, а не вы их».

Конечно, наших за границей было существенно меньше. В 1987 г. я был в Стэнфорде, и со мной захотел побеседовать ректор университета, доктор Кеннеди. Он тогда мне сказал: «Сейчас в Америке работает 40 тыс. китайцев. Ваших ученых – может быть, 100-200 человек, никто толком не знает. Мы считаем эту ситуацию ненормальной». Я поведал об этом нашему послу в Вашингтоне. Он сказал: «Напишите телеграмму. Все мои телеграммы читает Горбачев». Я написал такую телеграмму, он ее подписал. Это произвело сильное впечатление здесь, меня спросили, зачем я суюсь не в свои дела. Я честно ответил, что исполнял директиву посла. Сейчас в Америке 150 тыс. китайцев.

Сегодня в науке есть одновременно и сотрудничество, и конкуренция. Если две команды идут покорять Эверест, одна не будет спихивать другую в пропасть, она будет ее спасать, даже, возможно, жертвуя собственным успехом. Такой дух царит в современной науке. Например, сейчас в CERN в Женеве построен самый крупный в мире коллайдер. Американцы пытались построить такую установку в Техасе, закопали несколько миллиардов долларов под землю и ничего не добились. Мы пытались сделать то же самое в Серпухове – с таким же результатом. Никто с этим не справился в одиночку. Справилась только объединенная Европа. С российским участием – на этом проекте работали 500 наших ученых и инженеров. Но специальные исследования экономистов показали, что расходы на этот коллайдер (это порядка €10 млрд) окупаются приблизительно в три-четыре раза тем, что

там испытываются новые технологии, которые затем находят свое место в вычислительной технике, в управлении, в металлургии, в судостроении и т.д. Интересно, что будет с теми русскими инженерами, которые получили опыт строительства таких сложнейших объектов, где пригодятся их знания.

Еще один из вопросов ближайшего будущего в том, что нам необходимо строить мост между точными и гуманитарными науками. Сегодня гуманитарии, когда видят логарифмы, не говоря о более сложной функции, совершенно теряются. Образование в этом плане должно быть достаточно универсальным. И если мы не научимся это делать, то вопросы решения задач планирования, прогнозирования, управления даже научным процессом будут сильно затруднены.

Жорес Алферов:

Существует множество мифов, и один из них повествует о том, что советская наука была якобы изолирована от мировой. Я всю свою научную жизнь провел в Физикотехническом институте, и там международное сотрудничество было очень активным. У нас работали многие зарубежные ученые, и наши ученые трудились за рубежом. В послевоенные годы, когда советские физики создавали атомную бомбу здесь, а американские – водородную бомбу там, режим секретности был с обеих сторон, но отношения между советскими и американскими физиками все равно были очень хорошие. В 1954 г., в первый раз после войны, к нам в институт приехал с лекцией профессор Кембриджского университета Джон Бернал, и с этого момента снова началось международное научное сотрудничество. У нас было соглашение между Академией наук СССР и Национальной академией наук США. Благодаря этому соглашению я полгода был приглашенным профессором (*visiting professor*) в Иллинойс-

ском университете, а в нашем институте работали американские ученые. Да, официальные органы нам часто мешали, и для того чтобы поехать за границу, нужно было на одну бумагу получить в 14 инстанциях гриф «Разрешаю». Но, тем не менее, международные связи развивались довольно активно. У нас в институте много раз бывал великий американский физик, дважды лауреат Нобелевской премии Джон Бардин. Он всегда подчеркивал, что наука интернациональна по своей природе. На Международной конференции по физике полупроводников в Праге, в которой я еще молодым человеком участвовал, он сказал: «Посмотрите на физику полупроводников: она создана трудами Вильсона и Мотта в Великобритании, Вагнера и Шоттки в Германии, Иоффе и Френкеля в Советском Союзе. Наука интернациональна». То, что Николай Басов и Александр Прохоров разделили Нобелевскую премию с Чарлзом Таунсом, – это естественно. Одни и те же идеи создаются внутренней логикой развития науки. И они приходят в голову независимо от политических режимов и океанов, которые нас разделяют. И то, что я с Гербертом Кремером разделил Нобелевскую премию по полупроводниковым гетероструктурам, тоже естественно. Кстати, российская наука началась с приглашения Петром Первым именно иностранных ученых: братьев Бернулли, Леонарда Эйлера, Бюльфингера, историка Миллера, ботаника Гмелина. И первая Российская академия наук – Санкт-Петербургская – состояла только из иностранцев. Уже потом появились российские академики. С самого начала наука в нашей стране была международной. И когда нам было очень плохо в 1991 г., когда бюджет моего института упал в 20 раз, к нам пришли на помощь наши коллеги из-за рубежа. Совместные проекты с Берлинским техническим университетом, с военно-морской лабораторией в США, с Иллинойским университетом, с фирмой *Samsung* спасали российскую науку в это очень тяжелое время.

И сегодня мы с американскими учеными думаем, как спасти российскую науку. В научно-консультативном совете проекта «Сколково», где я один из соруководителей, примерно 40% членов – ученые из зарубежья: Соединенных Штатов Америки, Германии. У нас никаких проблем во взаимопонимании нет. Наша позиция чаще совпадает с мнением иностранных коллег, чем с представлениями нашей администрации.

Я согласен с тем, что междисциплинарные исследования будут завтра двигать науку. Например, за последнюю четверть века в физике каких-то ультрасобытий не произошло. По-настоящему революционное открытие – это дробный квантовый эффект Холла, открытый в 1982 г. и отмеченный Нобелевской премией 1998 г. Но минувшие 20 лет дали совершенно потрясающее развитие технологий, информационных и многих других, поскольку на основе старых работ и старых открытий появились новые возможности. А они обязательно дадут новые предметы и технологии. Как сказал один мой хороший знакомый, американский биохимик: «Современные лекарства без знания квантовой механики не создашь». И это правильный подход для появления принципиально новых вещей.

Игорь Агамирзян:

Понятие конкуренции в чистом виде сейчас уже стирается, и не только в науке, но и в бизнесе. Сегодня речь идет скорее о кооперативной конкуренции или конкурентной кооперации. Даже технологический бизнес, не только наука, стал настолько глубоко международным, глобализованным, что в наши дни практически невозможно найти продукт, сделанный в одной стране. Еще 20 лет назад писали *Made in USSR*, или *Made in USA*, или *Made in China*. На современных продуктах может быть написано что-нибудь совсем интересное и интернациональное. Вот на *iPhone* или на *iPad* на оборотной сто-





ОБ АВТОРЕ

Эвелина Владимировна Закамская – автор и ведущая программы «Мнение» на телеканале «Россия-24». Специализация – интервью с первыми лицами государств, ведущими политиками, учеными и общественными деятелями. Область интересов – все актуальные события современности. Член Академии российского телевидения.

роне написано: *Designed by Apple in California. Assembled in China*. В реальности их компоненты сделаны еще в десятке разных стран. А программы написаны в том числе российскими программистами и российскими компаниями. Продукт становится глобальным, так же как вся наука. А эта глобализация возможна только в условиях глобального сотрудничества. И получается, что у нас кооперация в рамках конкуренции.

Надо честно признать, что сегодня ценность и престиж ученого, преподавателя, инженера, технологического предпринимателя в нашем обществе, к сожалению, практически утрачены. И никакой модернизации, никакого прорыва, никакого реального вхождения в глобальную экономику на всех уровнях не произойдет до тех пор, пока молодежь не начнет стремиться стать людьми, создающими новые ценности. И роль научно-популярных журналов, таких как *Scientific American*, в этом деле огромна. Спад престижности инженерных научных специальностей – беда не только России, она проявляется и в Америке, и во всем мире. Это огромная проблема для технологических компаний. Скажем, экспансия современных технологических компаний в Индию, в Китай и в Россию за человеческими талантами связана в частности с тем, что в США просто не производится достаточного количества квалифицированных инженеров. Дело не только в системе образования, дело еще и в том, что люди у них рвутся в юристы, врачи, финансисты, а у нас в чиновники, на государственную службу. Я как человек, формально занимающийся финансовыми операциями, наверное, не должен был бы этого говорить, но для технологического бизнеса важнее, чтобы были хорошие инженеры и ученые, чем финансисты.

Эвелина Закамская:

Из легендарных историй про советских разведчиков, любимых, наверное, каждым подростком, мне запомнилась одна, не очень известная. В конце 1930-х гг. в разгар охоты за ядерными секретами спецслужбы вычитывали западные научные журналы. Разу-

меется, с другой стороны внимание к советским исследованиям было не меньшим. Тогда разведчикам пришлось серьезно погрузиться в проблемы ядерной физики. Им были знакомы работы Ю.Б. Харитона, Я.Б. Зельдовича, Г.Н. Флерова, К.А. Петржака о возможности цепной реакции и спонтанном делении урана. А в КГБ знали об исследованиях Нильса Бора, Джона Уиллера (в США) и Отто Фриша (в Великобритании). Однако к концу 1940-х гг. из иностранных научно-технических журналов статьи по ядерной тематике резко исчезли. Это стало сигналом того, что атомное оружие уже создается в закрытых научных лабораториях. В детстве этот прочитанный эпизод прервал мои мечтания о работе суперагентом (так у Анны Чапман не осталось конкурентов) – уж слишком прозаичными показались мне будни разведчика. Но историю я вспомнила, готовясь к встрече участниками программы.

Действительно, время от времени перед человечеством встает задача, которая из технической становится политической и исторической для страны. До Великой Отечественной войны была металлургия – это был заказ руководства страны для фундаментальной науки, ученые и инженеры справились, и СССР сделал индустриальный рывок. После войны, как упоминалось выше, изобретали бомбу, атомную и водородную. В 1960-х гг. полетели в космос, а следующие 30 лет создавали системы противоракетной и противокосмической обороны. Ученые выполняли приказ, а государство тратилось на науку. В Советском Союзе научные расходы составляли 5% ВВП (столько не тратят сегодня даже в США), сейчас – меньше 1%. Возможно, потому что нет идеи? Какова же сейчас большая историческая миссия науки? Будет ее решать одно государство, или сегодня человечество вплотную приблизилось к проблемам, которые могут в принципе закончить наше существование на Земле? В своих программах мне много раз приходилось собирать ученых, чтобы обсудить какую-то драматичную новость: землетрясение и аварию на АЭС в Японии, извержение вулкана в Исландии, теракт в Москве. Из всего услышанного вывод напрашивается один: ни одну из упомянутых «неприятностей» пережить в одиночку не получится, а предупредить тем более. В наш век коммуникации, информации, кооперации и т.д. ошибки почти всегда планетарного масштаба, угрозы почти всегда глобальны. Поэтому новое значение обретает и понятие интеллектуальной собственности. Этой темы мы лишь слегка коснулись в ходе программы, но я адресовала ее главе компании РОСНАНО Анатолию Чубайсу на Петербургском экономическом форуме. Именно там глава крупнейшей инновационной госкомпания России предложил объявить «интеллектуальную амнистию». Права нужно вернуть их авторам, а не оставлять министерствам и ведомствам, считает Чубайс. Прядвижу здесь повод для новой беседы в телеэфире. ■

Материал подготовила Эвелина Закамская

Интересуют ли вас новые достижения в науке и технике?



Какие области научного знания вам наиболее интересны?



Назовите, пожалуйста, несколько фамилий видных российских ученых – наших современников

	2007	2011
Алферов	8	7
Капица	6	3
Королев	10	2
Сахаров	6	2
Велихов	2	1
Гинзбург	0	1
Курчатов	1	1
Бокерия	0	1
Перельман	0	1
Рошаль	2	1
Федоров	3	1
Лихачев	2	0
Другое	16	5
Затрудняюсь ответить	67	81

КОМУ НУЖНА ЭТА НАУКА?

Как это ни печально, но согласно данным социологических опросов, интерес к науке у населения России падает. За последние четыре года людей, следящих за ее достижениями, стало меньше на 14%.

Источник: ВЦИОМ
Опрос был проведен 29-30 января 2011 г. Опрошено 1600 человек в 138 населенных пунктах в 46 областях, краях и республиках России



Эвелина Закамская



Мариэтт Ди Кристина



Сергей Капица



Жорес Алферов



Игорь Агамирзян



ПИСЬМО ДЛЯ МИРОВОЙ НАУКИ



При участии **ОАО «Российская венчурная компания»** и информационно-аналитического портала **«Полит.ру»**



POLIT.RU

«В нашем журнале за прошлый год было напечатано всего 20 статей русских ученых. Это очень мало. Один Гарвард печатает у нас в десять раз больше. И дело тут совсем не в том, что, как думают многие, в *Nature* легче размещают американцев и англичан, во все нет. Мы понимаем мировое значение российской науки и с радостью будем публиковать ваши статьи. Но для этого вы нам должны их присылать». Так сказал на проведенном в Москве мастер-классе управляющий директор *Nature Publishing Group* в Азии Дэвид Суинбэнкс. Собравшиеся слушатели были с ним целиком согласны. Практически любой современный ученый, независимо от национальности и гражданства, мечтает, чтобы его опубликовали в *Nature* – самом авторитетном и престижном научном журнале в мире.

Два журнала – три позиции

Тема мастер-класса была заявлена предельно прямо: «Как написать статью для публикации в международном научном журнале». Мероприятие проходило в рамках саммита главных редакторов международного семейства изданий *Scientific American* руководства издательского дома *Nature Publishing Group* по инициативе и при участии «Российской венчурной компании» и информационно-аналитического портала «Полит.ру» в интеллектуальном кафе «ПирО.Г.И.» на Сretenке. Вместе с Дэвидом своим опытом поделились главный редактор головного, американского журнала *Scientific American* Мариэтт Ди Кристина, вице-президент и член Совета попечителей *LeScienze/Nikkei, Treasurer, Scientific American, Inc.*



Дэвид Суинбэнкс



Борис Долгин



Мариэтт Ди Кристина



Рихард Зинкен



Майкл Флорек

Майкл Флорек и главный редактор немецкого интернет-издания *SA Spektrumdirekt.de* Рихард Зинкен.

На мастер-класс пришли ученые, студенты, научные журналисты и просто люди, интересующиеся наукой и научной прессой.

Большая часть вопросов была действительно о том, как опубликоваться, каким бывает ответ, на какие параметры текста редакция журнала обращает больше внимания. Спрашивали и о миссии *Nature* и *Scientific American*, их базовых принципах. Не обошлось без сетований о том, что золотой век научной журналистики у нас в стране прошел, а ученые так и не научились рассказывать о своих открытиях широкой публике доступным для нее языком.

Итак, кто, кому и как рассказывает о науке? «*Scientific American* – это журнал в основном не для ученых, – заявила удивленным слушателям Мариэтт Ди Кристина. – Настоящие ученые составляют менее 10% нашей аудитории. Большинство читателей *Scientific American* – просто большие приверженцы науки, они читают наш журнал для того, чтобы узнать о ее последних мировых достижениях. Если материал пишется для нас, автор должен понимать, что научная статья предполагает наличие у читателей определенного объема профессиональных знаний, а мы должны предполагать, что читатель знает то, что ему преподали в школе».

С *Nature* ситуация иная: «Один из первых номеров журнала содержал в себе описание миссии журнала, которую можно было разделить на две составляющие, – поведал собравшимся Дэвид Суинбэнкс. – Первая – поднять уровень знаний о науке вообще, а вторая – распространить знания среди ученых. В основном *Nature* сей-

час занимается второй составляющей своей миссии, но для нас важна также и задача повышения общего уровня научной осведомленности обычных людей».

Кухня изданий

За счет чего удастся поддерживать высокий уровень качества? Общий ответ – квалификация редакторов и огромное количество присылаемых статей, дающее хорошую возможность выбора. Но есть и нюансы. «В большинстве научных журналов, – рассказал Дэвид, – редакция просто координирует процесс размещения материалов, управляет им. В журнале *Nature* ситуация немного другая: у нас работают высокопрофессиональные специалисты, которые сами принимают ключевые решения относительно отбора статей. Обычно редакторы – это молодые ученые, которые написали диссертацию и продолжают заниматься исследованиями. Когда у нас открывается вакансия, мы получаем заявки от 15-20 идеальных кандидатов, и нам очень сложно выбрать из них самых-самых. Вот эти самые-самые потом и отбирают для публикации лучшие статьи. Из того, что к нам приходит, мы печатаем примерно 6%».

Представитель РВК и практикующий ученый-биолог Дмитрий Кузьмин посетовал на недостаток обучения в российских вузах академическому письму и спросил у Дэвида Суинбэнкса, учит ли *Nature* студентов тому, как надо писать статьи. Ответ оказался положительным: «Конечно, мы регулярно проводим такие занятия. Редакторы *Nature* разъезжают по миру и выступают с лекциями о том, как надо публиковаться». Кроме того, в журнале начали проводить семинары на тему структурирования информации, о том, как писать статьи: «Надо



ведь не просто рассказать, не просто проинформировать, надо дать какие-то навыки. Я думаю, что в России тоже есть хороший потенциал для такого рода деятельности».

Упомянутые редактором немецкого издания *Scientific American* аналогичные курсы для молодых ученых сразу вызвали вопрос о том, как на них записаться. Похоже, именно в этой области оказался фокус потребностей – и для ученых, и для тех, кто хотел бы заниматься наукой в качестве ее популяризатора.

Личные траектории

«Я занимался океанографией в Японии. Моя докторантура уже подошла к концу, но в это время в моем любимом научном журнале *Nature* стало появляться все больше статей о Японии. Редакция даже заве-

ла себе корреспондентов в Токио. Я нашел этого токийского корреспондента и задал ему вопрос, нельзя ли поработать на него фрилансером. Была среда, и он предложил: «Да, можешь написать что-нибудь к следующему четвергу». Я сказал: «Хорошо, если ты дашь мне тему, на которую нужно написать». «Нет-нет-нет, – возразил он, – придумай тему сам». – «А если я придумаю, ты отправишь меня к тем людям, с которыми стоит поговорить?» – «Нет-нет-нет, сам ищи людей!» Ну ладно. Итак, была среда, вечер. В четверг я отправил корреспонденту список возможных вариантов тем. В пятницу он указал подходящую. Я сразу начал обзванивать людей, написал статью за выходные, в понедельник отнес ему. Он посмотрел на нее и сказал: «Мда, неплохо, неплохо». А потом он всю ее перелопатил, буквально поставил с ног на голову. Потому что я-то, когда писал, думал как ученый. Оказывается, для журнала нужно было писать по-другому, и он помог мне понять это и переделать текст. Уже в четверг моя первая статья была опубликована. Вот как я пришел в *Nature*». Так рассказал о своем пути в один из крупнейших мировых научных журналов Дэвид Суинбэнкс. Сегодня он управляющий директор *Nature Publishing Group* в Азии.

У других представителей научной журналистики путь в профессию был иным, но тоже проходил через науку. «Мой отец был журналистом, и я сам начал писать статьи еще в школе, для школьного журнала, – рассказал свою историю главный редактор немецкого издания Рихард Зинкен. – Задумавшись о своей будущей профессии, я спросил у отца, как он относится к тому, что я намереваюсь пойти по его стопам. Он мне сказал: «Слушай, если ты решил заняться журналистикой, сначала получи диплом по какой-то нормальной, серьезной спе-

НАШИ ПАРТНЕРЫ:



РОСНАНО



циальности, и уже от нее отталкивайся. Потому что ты всегда должен хорошо понимать то, о чем пишешь». Поскольку наука меня тоже привлекала, я решил изучить физику, хотя это было непросто. И после уже занялся журналистикой. Со стороны отца это был дельный совет, и я это понял очень быстро».

Затевая эту встречу, мы предполагали, что столь же дельные советы смогут получить наши молодые ученые, а редакторы *Nature* и *Scientific American* лучше узнают о том, что происходит у нас, и наши ожидания полностью оправдались. Надеемся, что перспектива постоянного практического семинара при поддержке РВК вскоре станет реальностью. ■

Борис Долгин



ОБ АВТОРЕ

Борис Семенович Долгин окончил Российский государственный гуманитарный университет в 1993 г. Научный редактор «Полит.ру», руководитель проекта «Публичные лекции "Полит.ру"», соведущий радиопрограмм цикла «Наука 2.0» – совместного проекта «Полит.ру» и радиостанции «Вести FM», редактор совместной с «Полит.ру» телепрограммы «Наука 2.0» на канале «Россия-24». Автор публикаций в области истории, политологии, международных отношений, проблем организации образования и науки. Участвовал в подготовке к изданию сочинений В.М. Жирмунского, П.Г. Богатырева, А.В. Портнова.



РОССИЯ 1

РОССИЯ 24

ЖИЗНЬ В КВАНТОВОМ МИРЕ



Квантовая механика описывает не только поведение мельчайших частиц. Ее законы действуют в телах всех размеров: в птицах, растениях и, возможно, даже в человеке

Влатко Ведрал

Стандартные учебники физики утверждают, что квантовая механика – это теория микромира. Она описывает поведение частиц – атомов и молекул, но уступает место обычной классической физике в макроскопическом масштабе. Где-то в промежутке между молекулой и, скажем, грушей находится пограничная область, где исчезают странности квантового мира и начинают действовать знакомые законы классической физики. Мнение о том, что законы квантовой механики относятся исключительно к микромиру, общепринято. Классическая же физика, включающая в себя все неквантовые теории, в том числе частную и общую теории относительности Альберта Эйнштейна, имеет дело с крупномасштабными объектами

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- По общему мнению, квантовая механика – теория микромира: молекул, атомов, субатомных частиц.
- Почти все физики, тем не менее, убеждены, что это относится ко всем вещам, независимо от их размера. То, что отличительные особенности скрыты, – не простой вопрос масштаба.
- Эксперименты последних нескольких лет демонстрируют квантовые эффекты в растущем числе макроскопических систем.
- Наиболее существенный квантовый эффект, перепутанность, может иметь место в больших и теплых системах, включая живые организмы, даже при том что движение молекул может ее разрушить.



Однако такое привычное разделение мира по сути дела не более чем миф. Сейчас немногие физики считают, что классическая физика обладает тем же статусом, что и квантовая; на самом деле она представляет собой полезное приближение для описания мира, который при всех пространственных масштабах является квантовым. Проявление квантовых эффектов труд-

но наблюдать в макромире, но причина этого не в размерах, а в том, как квантовые системы взаимодействуют друг с другом. До прошлого десятилетия не было экспериментальных подтверждений того, что квантовые эффекты сохраняются и в макросистемах. Сегодня же наблюдения таких эффектов превратились в рутину, поскольку они оказались гораздо более широко

распространены, чем этого можно было ожидать. Например, они могут работать в клетках нашего тела. Даже те из нас, кто посвятил свою жизнь изучению данных эффектов, стараются понять, что же они могут сообщить нам о протекании процессов в природе. Квантовое поведение с трудом доступно визуализации и конфликтует со здравым смыслом. Это заставляет нас

НАБЛЮДАЯ ЗА НАБЛЮДАТЕЛЕМ

Идея о том, что квантовая механика применима ко всем объектам во Вселенной, включая и нас, людей, может привести к ряду странных заключений. Рассмотрим вариант канонического мысленного эксперимента с котом Шредингера, предложенный в 1961 г. нобелевским лауреатом Юджином Вигнером (Eugene P. Wigner) и усложненный Дэвидом Дойчем (David Deutsch) из Оксфордского университета в 1986 г.

Предположим, что очень искусный физик-экспериментатор Алиса помещает Боба в комнату вместе с котом, радиоактивным атомом и кошачьим ядом, активирующимся, если атом распался. Присутствие в комнате человека нужно для того, чтобы с ним можно было общаться (получить ответ от кота не так-то просто). С точки зрения Алисы, атом находится как в распавшемся, так и в нераспавшемся состоянии одновременно, и, соответственно, животное одновременно и живо и мертво. Однако Боб, непосредственно наблюдающий за котом, видит его в одном определенном состоянии из двух. Алиса просовывает под дверь листок бумаги с вопросом Бобу: находится ли животное в одном определенном состоянии, и Боб отвечает: «Да».

Заметьте, что Алиса не спрашивает Боба, жив кот или мертв. Для нее это означало бы предопределение результата, или, как выражаются физики, коллапс состояния. Ее удовлетворяет то, что ее друг видит животное либо живым, либо мертвым, и она не спрашивает, каким именно.

Поскольку Алиса не допустила коллапса состояния, то с точки зрения квантовой теории передача листка бумаги под дверь – обратимое действие. Она может снова пройти все стадии эксперимента. И если ранее кот был мертв, то теперь он будет жив, яд останется в сосуде, атом окажется нераспавшимся, а Боб не будет помнить о том, что он когда-то видел мертвую тушку.

Однако один след все же остается: листок бумаги. Алиса может воспроизвести эксперимент, но она не может изменить то, что было на нем написано. А на нем было написано, что Боб ранее видел кота в определенном состоянии: либо живым, либо мертвым.

И это приводит нас к удивительному заключению. Алиса могла обратить эксперимент, поскольку, с ее точки зрения, ей удалось избежать коллапса состояния; для нее Боб был в таком же неопределимом состоянии, что и кот. Но находившийся в комнате ее друг думал, что состояние было разрушено. Он наблюдал определенный исход эксперимента, что доказывается его запиской. Таким образом, эксперимент демонстрирует два очевидно исключаящих друг друга принципа. Алиса думает, что квантовая механика приложима к макроскопическим объектам: не только коты, но и Бобы могут существовать в квантовом мире. Боб же считает, что они могут быть только живыми или мертвыми.

Такой эксперимент с человеческим существом может показаться противоестественным, однако физики могут сделать практически то же самое с более простыми системами. Антон Цайлингер (Anton Zeilinger) и его коллеги из Венского университета направили фотон на большое зеркало. Если фотон отражается от него, то зеркало получает импульс отдачи, если же фотон проходит через зеркало, то оно остается неподвижным. Фотон здесь играет роль распадающегося атома – он может существовать более чем в одном состоянии. Зеркало, состоящее из миллиардов атомов, действует и как кот, и как Боб. Процесс может быть обращен повторным отражением фотона от зеркала.

Разрабатывая эти хитроумные мысленные эксперименты, Вигнер и Дойч следовали за Эрвином Шредингером, Альбертом Эйнштейном и другими теоретиками, которые призывали физиков к более глубокому пониманию квантовой механики. Однако в течение многих десятилетий большинство физиков не были особенно озабочены этими фундаментальными проблемами, т.к. они мало влияли на практические приложения теории. Однако теперь, когда такие эксперименты могут быть реально осуществлены, задача глубокого понимания квантовой механики становится все более насущной.

переосмыслить наши взгляды на Вселенную и принять новую, непривычную картину нашего мира.

Запутанная история

Для ученого, занимающегося квантовой теорией, классическая физика рисует черно-белое изображение многоцветного мира. Классические категории не способны отобразить мир во всем богатстве его оттенков. Отдельные частицы ведут себя согласно квантовым законам, а *en masse* – классически. Первые указания на то, что размер системы – не определяющий фактор, были выявлены в знаменитом мысленном эксперименте с так называемым котом Шредингера.

Эрвин Шредингер предложил его в 1935 г., чтобы проиллюстрировать, как микро- и макромир взаимодействуют друг с другом, исключая произвольные связи между ними. Квантовая механика говорит, что радиоактивный атом в один и тот же момент времени может существовать как расщепленный и как нерасщепленный. Если такую частицу поместить в сосуд с ядом, который становится смертелен для кота в случае, если атом распался, то животное также оказывается в неопределенном состоянии – одновременно и живым и мертвым. Неопределенность одной системы передается другой. Загадка в том, почему владелец питомца увидит его в определенном состоянии: или живым, или мертвым.

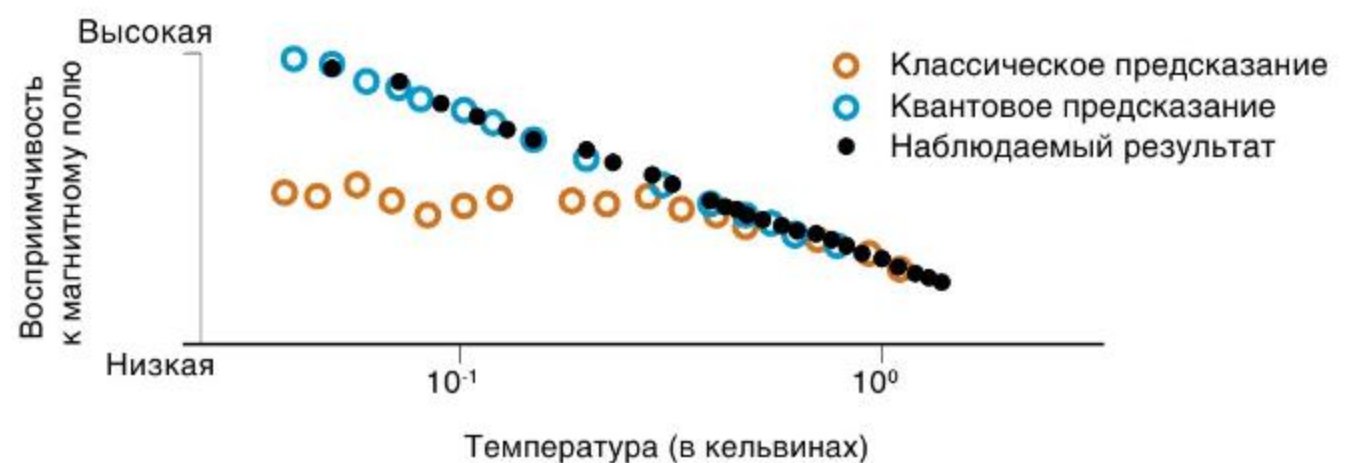
С современной точки зрения мир выглядит классическим, т.к. сложные взаимодействия квантового объекта с его окружением скрывают квантовые эффекты от нашего наблюдения. Например, информация о состоянии здоровья кота быстро распространяется в окружающей среде в форме фотонов и теплообмена. Такая утечка информации о квантовом состоянии лежит в основе процесса, известного как декогерентность, или распад суперпозиционных состояний.

Большие объекты более подвержены декогерентности, чем ма-

КВАНТОВАЯ СОЛЬ

Физики привыкли считать, что квантовые законы проявляются в чистом виде только на уровне отдельных частиц, а большие кластеры частиц ведут себя согласно классическим законам. Но эксперименты, выполненные в последнее время, противоречат этому представлению. Например, атомы (*точнее, векторы моментов количества движения атомов. – Прим. пер.*) в кристалле соли ориентированы хаотически (*внизу слева*), а при наложении внешнего магнитного поля выстраиваются вдоль него. Это выстраивание происходит быстрее, чем ожидается согласно предсказанию классической физики (*внизу в центре*). Очевидно, что их выстраиванию строго по направлению поля (*внизу справа*) способствует квантовое явление перепутывания – «загадочное действие», координирующее движения частиц, далеко отстоящих друг от друга. Роль перепутывания выявляется в измерениях магнитных свойств кристалла (*на графике*)

КАК СОЛЬ ОБМАНЫВАЕТ КЛАССИЧЕСКИЕ ОЖИДАНИЯ



лые, что объясняет, почему физики обычно рассматривают квантовую механику как теорию микромира. Однако во многих случаях утечку информации можно замедлить или даже остановить, и тогда квантовый мир проявляет себя во всем

своим блеске. Важнейший квантовый эффект – перепутанность или запутанность (*entanglement*) – термин, который Шредингер ввел в 1935 г., тогда же, когда представил миру своего кота. Он означает связывание индивидуальных частиц

в некоторое неразделимое целое. Классическая система всегда разделима, по крайней мере в принципе. Любые коллективные свойства, которыми она обладает, определяются свойствами ее компонентов, обладающими одинаковыми свойствами. Но связанная, или перепутанная, система не может быть разделена таким способом. Это явление приводит к странным последствиям. Перепутанные частицы, даже находясь далеко друг от друга,

ведут себя как единое целое. Эту ситуацию Эйнштейн назвал «загадочным действием на расстоянии».

Обычно физики говорят о перепутывании пар элементарных частиц, таких как электроны. Их можно приближенно рассматривать как маленькие волчки, вращающиеся по часовой стрелке или против нее, с осью вращения, ориентированной произвольно: горизонтально, вертикально, под углом 45° и т.д. Чтобы опре-

делить спин частицы (в данном случае направление оси вращения. – Прим. пер.) вы должны выбрать направление и посмотреть, совпадает ли он с этим направлением.

Предположим, что электроны ведут себя как классические частицы. Вы можете сориентировать спин одного электрона горизонтально с вращением по часовой стрелке, а другого также горизонтально, но с вращением против часовой стрел-

ПЕРЕПУТЫВАНИЕ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Квантовые эффекты не ограничены субатомными частицами. Они проявляются и в экспериментах с более крупными и нагретыми системами

ЧТО	КОГДА	ТЕМПЕРАТУРА	КТО
Наблюдение интерференционной картины для бакиболов (фуллеренов), показывающее, что молекулы, как и элементарные частицы, ведут себя как волны	1999	900-1000 K	Маркус Арндт (Markus Arndt), Антон Цайлингер (Anton Zeilinger) и др. Венский университет
Проявление перепутывания для триллионов (или больше) атомов в магнитной восприимчивости карбоксилатов металлов	2009	630 K	Алехандре Мартинс де Соуза (Alexandre Martins de Souza) и др. Бразильский центр физических исследований
Обнаружено, что квантовые эффекты повышают фотосинтез для двух видов морских водорослей	2010	294 K	Элизабета Коллини (Elisabetta Collini) и др. Торонтский университет, Университет Нового Южного Уэльса, Падуанский университет
Установлен мировой рекорд наблюдения квантовых эффектов в гигантских молекулах	2011	240–280 K	Стефан Герлих (Stefan Gerlich), Сандра Эйзенбергер (Sandra Eibenberger) и др. Венский университет
Перепутывание трех квантовых битов в сверхпроводящей цепи – это может помочь в создании квантовых систем любого размера	2010	0.1 K	Леонардо Ди Карло (Leonardo DiCarlo), Роберт Шелкопф (Robert J. Schoelkopf) и др. Йельский университет, Университет Уотерлу
Упругую пластинку длиной 40 микрон (едва видимую невооруженным глазом) заставили колебаться одновременно на двух разных частотах	2010	25 мК	Аарон О'Коннел (Aaron O'Connell), Макс Хофхайнц (Max Hofheinz) и др. Калифорнийский университет в Санта-Барбаре
Перепутывание в цепочках из восьми ионов кальция, удерживаемых в ионной ловушке. Сейчас это уже делается для 14 ионов	2005	0,1 мК	Хартмут Хеффнер (Hartmut Haeffner), Райнер Блатт (Rainer Blatt) и др. Инсбрукский университет
Перепутывание колебательных состояний (а не внутренних свойств, таких как спин) в ионах бериллия и марганца	2009	0,1 мК	Джон Йост (John D. Jost), Дэвид Уайнленд (David J. Wineland) и др. Национальный институт стандартов и технологий



ки. В этом случае их полный спин (в данном случае полный момент количества движения. – Прим. пер.) равен нулю. Оси вращения электронов остаются фиксированными в пространстве, и если вы производите измерение, то его результат зависит от того, совпадает ли выбранная вами ось с осью вращения частиц. Если вы производите измерение в горизонтальном направлении, то вы видите, что они вращаются в противоположных направлениях; если вы производите измерение в вертикальном направлении, то уже не можете определить спин ни для одного из них.

Однако для квантовых электронов ситуация в корне отлична. Вы можете устроить так, что полный спин частиц будет равен нулю, даже если вы не знаете, каковы их индивидуальные спины. Если вы производите измерение с одной из частиц, то вы видите, что она произвольно меняет направление вращения, как если бы сама решала, в каком направлении ей вращаться. И, тем не менее, какое бы направление измерения вы ни выбрали, при условии, что оно одно и то же для обеих частиц, вы всегда увидите их вращающимися в противоположных направлениях – одну по часовой, а другую против часовой стрелки. И остается совершенной загадкой, как они узнают о том, как им надо поступить. Более того, если вы производите измерение с одной частицей в горизонтальном направлении, а с другой в вертикальном, то получите определенное значение спина для обеих, т.е. создается впечатление, что частицы не обладают фиксированной осью вращения. Результаты подобных измерений не могут быть поняты в рамках классической физики.

Действуя заодно

В большинстве экспериментов, демонстрирующих явление перепутывания, участвует сравнительно небольшое число частиц. Большие коллективы частиц труднее изолировать от окружающей среды, и их участники получают возможность

перепутываться с чужими частицами, что скрывает их первоначальные связи. На языке декогерентности это означает, что слишком много информации утекает в окружение системы, и она начинает вести себя как классическая. Трудность сохранения первоначальных связей представляет собой главный вызов тем из нас, кто хотел бы использовать эти новые явления в практических целях, например для создания квантовых компьютеров. Выполненный в 2003 г. изящный эксперимент показал, что перепутывание может сохраняться и в более крупных системах, если удастся противодействовать утечке информации. Габриэль Эппли (Gabriel Aeppli) с коллегами из Университетского колледжа Лондона взяли кусочек фторида лития и поместили его во внешнее магнитное поле. Атомы этой соли можно рассматривать как маленькие вращающиеся магниты, которые стремятся выстроиться вдоль внешнего магнитного поля; данное их свойство известно как магнитная восприимчивость. Силы, с которыми атомы воздействуют друг на друга, заставляют их выстраиваться быстрее. Исследуя восприимчивость соли в зависимости от силы магнитного поля, авторы нашли, что атомы отвечали на изменение поля значительно быстрее, чем это следовало из рассчитанной силы их магнитного взаимодействия. Было очевидно, что существует некоторый дополнительный эффект, помогающий атомам действовать в унисон, и исследователи предположили, что перепутывание ответственно за это. Если это так, то 1020 атомов соли существовали в огромном едином перепутанном состоянии.

Чтобы избежать помех от хаотического теплового движения атомов, команда Эппли проводила эксперименты при крайне низких температурах в несколько милликельвинов. Однако затем Александре Мартинс де Соуза (Alexandre Martins de Sousa) с сотрудниками из Бразильского центра физических исследований

в Рио-де-Жанейро обнаружили явление макроскопического перепутывания в веществах, таких как углекислая медь, при температуре выше комнатной. В этих веществах взаимодействие между спинами частиц столь сильно, что способно противостоять тепловому хаосу. В других случаях тепловые эффекты удается подавить внешней силой. Физики наблюдали перепутывание в системах все больших размеров и при все более высоких температурах, от ионов, захваченных в электромагнитной ловушке, до сверхпроводящих квантовых ячеек памяти.

Такие системы подобны коту Шредингера. Рассмотрим атом железа. Его электроны могут находиться вблизи ядра или вдали от него, или и там и там одновременно. Этот электрон аналогичен радиоактивному атому, который может быть в одно и то же время в двух состояниях в мысленном эксперименте Шредингера. Вне зависимости от того, как ведет себя электрон, весь атом может двигаться, скажем, влево или вправо. Такая частица играет роль мертвого или живого кота. Используя лазер для управления атомом, физики могут связать два свойства. Если электрон находится вблизи ядра, мы можем заставить атом двигаться влево, а если вдали от него – вправо. Таким образом, состояние электрона связано с движением атома, подобно тому как от радиоактивного распада зависит, жив или мертв кот, только вместо пушистого млекопитающего – атом, который может одновременно двигаться влево и вправо.

В других экспериментах эта базовая идея распространяется на более крупные системы, когда состояния огромного числа атомов оказываются перепутанными, и система в целом оказывается в состоянии, непредставимом в рамках классической физики. И если можно осуществить перепутывание состояний в нагретых твердых телах большого размера, то естественно воз-



ОБ АВТОРЕ

Влатко Ведрал (Vlatko Vedral) создал себе имя в науке разработкой новых способов квантования перепутывания и приложения их к макроскопическим физическим системам. Он окончил Королевский колледж в Лондоне и получил там ученую степень. С июня 2009 г. он находится в перепутанном состоянии должностей профессора Оксфордского университета и Национального университета Сингапура. Помимо физики Ведрал с удовольствием занимается со своими тремя детьми и увлекается игрой на электрогитаре.

никает вопрос, возможно ли это в таких больших и теплых системах особого типа, как живая ткань.

Птицы Шредингера

Маленькие трудолюбивые птички, европейские малиновки, каждый год совершают перелет из Скандинавии к теплым равнинам Экваториальной Африки, а весной возвращаются обратно. И совершают они это путешествие в 13 тыс. км совершенно естественно и просто.

Людей издавна интересовала загадка, обладают ли птицы и другие животные встроенным компасом. Вольфганг и Росвита Вильчко (Wolfgang Wiltschko, Roswitha Wiltschko), супружеская пара из Франкфуртского университета в Германии, поймали несколько малиновок на их пути в Африку и поместили их во внешнее магнитное поле. К их удивлению, при изменении направления поля малиновки

не могли отличить направления на север и на юг. Птицы, однако, реагировали на магнитное наклонение, т.е. на угол, образуемый силовыми линиями поля с плоскостью горизонта. Следовательно, именно этот параметр обеспечивал ориентацию птиц в полете. Интересно, что пернатые, которых лишали возможности видеть, совершенно не реагировали на магнитное поле, т.е. птицы каким-то образом ощущали его глазами.

В 2000 г. Торстен Ритц (Thorsten Ritz) с коллегами из Университета Южной Флориды, увлеченные изучением перелетных птиц, предположили, что ключ к разгадке – перепутывание. По их гипотезе, основанной на работах Клауса Шультена (Klaus Schulten) из Университета штата Иллинойс, в глазах птицы имеются определенные молекулы, два электрона которых образуют перепутанную пару, полный спин которой равен нулю. Подобная ситуация не может быть представлена в рамках классической физики. Когда такая молекула поглощает видимый свет, его энергия передается электронам, они разделяются и становятся чувствительными к внешним воздействиям, включая магнитное поле. Наклонное магнитное поле по-разному воздействует на электроны пары, что создает дисбаланс, изменяющий химические реакции, в которые вступает молекула. Химические процессы в глазу преобразуют эти различия в нервные импульсы, создающие в мозгу птицы изображение магнитного поля.

Доказательства, предложенные Ритцем, конечно, нельзя считать прямыми, однако эксперименты, проведенные Кристофером Роджерсом (Cristofer T. Rogers) и Киминори Маэдой (Kiminori Maeda) из Оксфордского университета в условиях лаборатории (т.е. не на живом организме), показали, что эти молекулы действительно чувствительны к магнитному полю вследствие перепутывания электронных состояний. Согласно вычислениям, проде-

ланным мною с коллегами, квантовые эффекты сохраняются в глазу птицы в течение 100 микросекунд, что в данном контексте – довольно большой промежуток времени. Рекорд для искусственно сконструированной электрон-спиновой системы – примерно 50 микросекунд. Мы еще не знаем, как квантовые эффекты могут сохраняться столь долго в природных системах, но ответ на этот вопрос поможет нам выработать идеи, как защитить квантовые компьютеры от декогерентности.

Другой биологический процесс, в котором работает перепутывание, – фотосинтез, с помощью которого растения преобразуют солнечный свет в химическую энергию. Свет высвобождает внутри клетки электроны, стремящиеся найти путь в одно и то же место – центр химической реакции, где они отдадут свою энергию и запускают реакции, снабжающие энергией клетки растения. Классическая физика не в состоянии объяснить, как они делают это с почти стопроцентной эффективностью.

Эксперименты, проведенные несколькими группами, например Грэма Флеминга (Graham T. Fleming) и Мохана Саровара (Mohan Sarovar) с сотрудниками из Калифорнийского университета в Беркли, а также Грегори Скоулса (Gregory D. Scholes) из Университета Торонто, показали, что высокая эффективность процесса фотосинтеза определяется квантовомеханическими эффектами. В квантовом мире частица не обязана в данный момент времени двигаться по единственной траектории; она может двигаться одновременно по всем возможным путям. Электромагнитные поля, существующие внутри клетки растения, могут привести к тому, что некоторые из траекторий гасят друг друга, а другие взаимно усиливаются; тем самым уменьшается вероятность того, что электрон выберет бесполезную траекторию, и возрастает шанс его попадания непосредственно в реакционный центр.

В таком случае перепутывание сохраняется всего в течение малой доли секунды и охватывает молекулы, состоящие не более чем из 100 тыс. атомов. Существуют ли в природе примеры, когда перепутывание действует в объектах больших размеров и сохраняется более долго? Пока мы этого не знаем, но поиски ответа стимулируют развитие нового направления – квантовой биологии.

Что все это значит?

Шредингеру вывод о том, что кот мог быть одновременно и живым и мертвым, представлялся абсурдным; любая теория, дававшая такое предсказание, несомненно была бы ущербной. Многие поколения физиков ощущали этот дискомфорт и полагали, что квантовая механика неприложима к большим объектам. В 1980-х гг. Роджер Пенроуз (Roger Penrose) из Оксфорда предположил, что квантовая механика уступает место классической физике для объектов тяжелее 20 мкг из-за действия гравитации, а трио итальянских физиков – Джанкарло Гирарди (Giancarlo Ghirardi) и Томазо Вебер (Tomaso Weber) из Университета Триеста, а также Альберто Римини (Alberto Rimini) из Университета Павии – предположило, что классическое поведение больших коллективов частиц возникает спонтанно. Однако новые эксперименты не согласуются с этой гипотезой. Оказывается, что различие между квантовым и классическим мирами не имеет фундаментального характера. Это всего лишь вопрос искусства эксперимента, и сейчас только немногие физики считают, что классическая физика сохранится в каких бы то ни было масштабах. Во всяком случае, общее мнение таково: если место квантовой физики займет более глубокая теория, то мир предстанет еще более противоречащим интуиции, чем что-либо встречавшееся нам до сих пор.

Таким образом, тот факт, что квантовая механика работает во всех масштабах, ставит нас перед

лицом глубочайших тайн теории. Мы не можем просто отбросить возникающие проблемы как незначительные детали, важные лишь при самых малых размерах. Например, пространство и время – наиболее фундаментальные категории классической физики, однако в рамках квантовой механики они вторичны. Первичным оказывается перепутывание квантовых состояний. Оно устанавливает связи между квантовыми системами вне пространственно-временных рамок. Если бы между квантовым и классическим мирами существовала граница, то мы могли бы использовать пространство и время классического мира для системы координат при описании квантовых процессов. Но без такой границы – и, в действительности, без истинно классического мира – мы теряем эту систему координат. Тогда мы должны рассматривать пространство и время как категории, выводимые каким-то способом из фундаментально беспространственной и безвременной физики.

Продвижение в этом направлении может, в свою очередь, примирить квантовую физику со вторым гигантским столпом физики – общей теорией относительности Эйнштейна, описывающей силы гравитации в понятиях геометрии пространства-времени. Согласно общей теории относительности, тела занимают в пространстве строго определенные положения и никогда не могут в одно и то же время находиться в разных позициях – в прямом противоречии с квантовой физикой. Многие физики считают, подобно Стивену Хокингу (Stephen Hawking) из Кембриджского университета, что теория относительности должна уступить место более глубокой теории, в которой пространство и время отсутствуют. При этом классическое пространство-время возникает из квантового перепутывания через процесс декогерентности.

Еще более интересной возможностью представляется то, что гра-

витация – не фундаментальная сила, а остаточный шум, возникающий за счет квантового размытия других сил, существующих во Вселенной. Эта идея «индуцированной гравитации» восходит к 1960-м гг., когда она была выдвинута советским физиком А.Д. Сахаровым. Если это так, то гравитация не только лишится своей фундаментальности, но и все попытки «квантования» гравитации окажутся бессмысленными. На квантовом уровне ее может вообще не существовать.

Следствия того, что макроскопические объекты, подобные нам с вами, существуют в квантовом мире, настолько поразительны, что мы, физики, пока находимся в перепутанном состоянии замешательства и удивления. ■

Перевод: А.А. Сорокин

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Entangled Quantum State of Magnetic Dipoles. S. Ghosh et al. in *Nature*, Vol. 425, pages 48–51; September 4, 2003.
- Entanglement in Many-Body Systems. Luigi Amico, Rosario Fazio, Andreas Osterloh and Vlatko Vedral in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 80, No. 2, pages 517–576; May 6, 2008. Доступно онлайн на: arxiv.org/abs/quant-ph/0703044
- Decoding Reality: The Universe as Quantum Information. Vlatko Vedral. Oxford University Press, 2010.



ОБ АВТОРЕ

Адам Пьоре (Adam Piore) – независимый автор из Нью-Йорка и бывший репортер журнала *Newsweek*. Пишет также для рубрики «Патенты» журнала *Scientific American*.



СТРАХОВКА ОТ ЧЕРНОГО ЛЕБЕДЯ

Масштабная авария на АЭС «Фукусима-1» привлекла всеобщее внимание к американским ядерным реакторам нового поколения. Так ли они безопасны?

Адам Пьоре

В тысячах километров от разрушенной атомной электростанции «Фукусима-1» в Японии, в глубине сосновых лесов штата Джорджия сотни рабочих готовят площадку под ядерное возрождение США, в наступление которого они все еще верят. Бульдозеры выравнивают и уплотняют поверхность, под которой – километры свежепроложенных трубопроводов и ливне-стоков. Если планы не будут отменены, в течение следующего года здесь начнется строительство двух новых ядерных реакторов – первых одобренных в США после более чем 25-летнего перерыва.

Это может стать началом новой волны строительства ядерных реакторов, почти прекратившегося после частичного разрушения реактора на АЭС «Три-Майл-Айленд»

в 1979 г. С тех пор призрак изменения климата превратил ядерную энергию из экологического пугала в источник энергии, не дающий выбросов углекислого газа. Президент Барак Обама, как и его предше-

ственник Джордж Буш-младший, поддерживает возобновление строительства новых АЭС, и сегодня Комиссия по ядерному регулированию США (NRC) рассматривает предложения

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Энергетические компании планируют построить в США 22 новых ядерных реактора. Сейчас их проекты заново рассматриваются на предмет безопасности в чрезвычайных ситуациях.
- Требуется, чтобы средства защиты новых реакторов срабатывали без вмешательства человека даже при полном отключении энергопитания.
- Сомнения в отношении наиболее перспективной конструкции – AP1000 компании *Westinghouse* – могут затруднить окончательное одобрение проекта Комиссией по ядерному регулированию.
- Даже если новейшие конструкции будут способны выдержать мощные землетрясения, цунами или падения самолетов, компаниям придется балансировать между затратами и выигрышем в безопасности.

АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

о строительстве еще 20 реакторов, кроме упомянутых двух в Джорджии, в дополнение к 104, возведенным десятилетиями ранее.

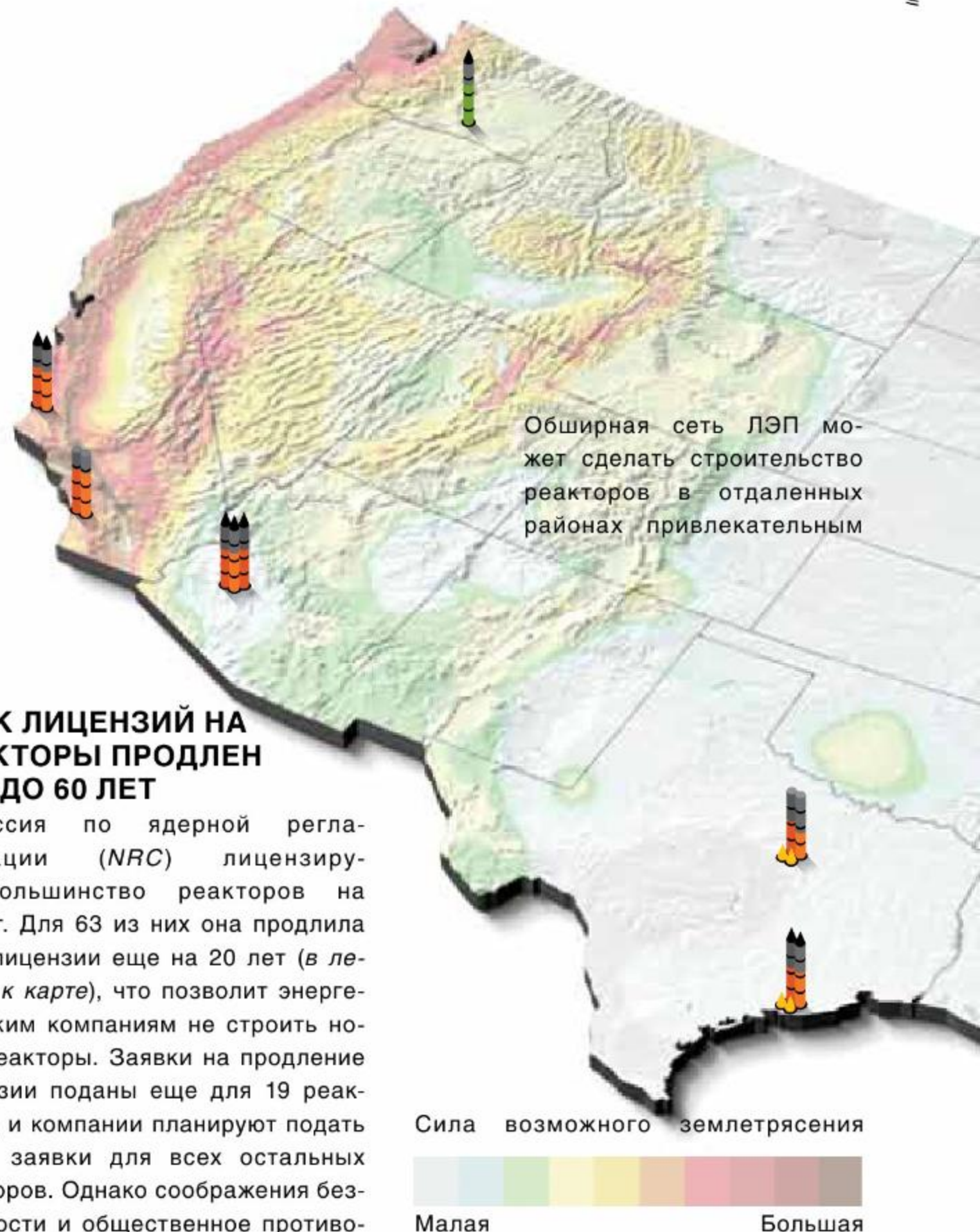
Больше половины этих новых реакторов, включая два в Уэйнсборо (штат Джорджия), будут типа AP1000 – первой конструкции, где предусмотрены «пассивные» средства защиты, которые должны свести на нет возможность такой катастрофы, как в Фукусиме. Для предотвращения чрезмерного перегрева ядерного топлива в случае аварии ставка делается на природные факторы – гравитацию и конденсацию, чего на японской АЭС предусмотрено не было.

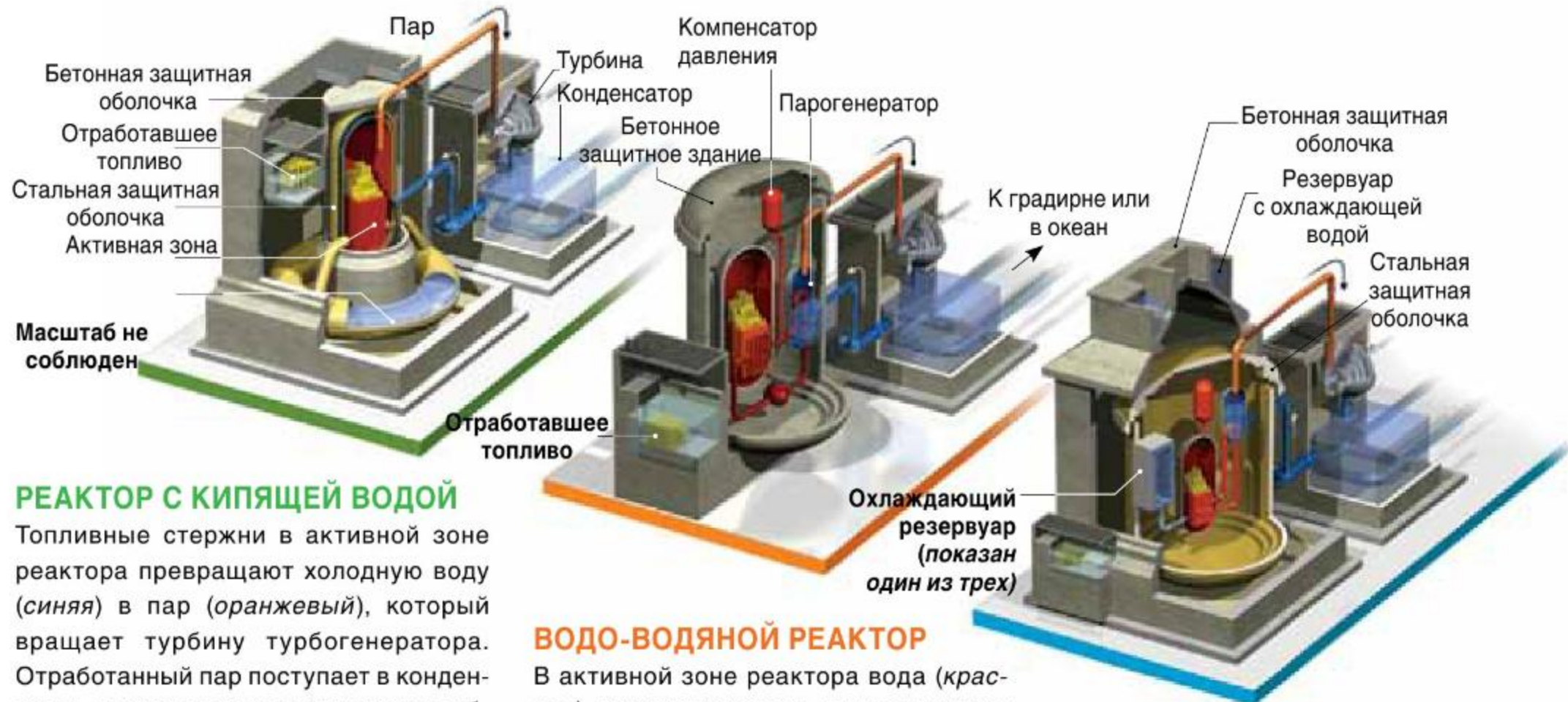
Всего несколько месяцев назад казалось вполне вероятным, что два реактора AP1000 для Джорджии успешно пройдут процедуру окончательного одобрения в NRC и строительство можно будет начать уже в этом году. Однако мартовская катастрофа на АЭС «Фукусима-1», когда девятибалльное землетрясение и цунами оставили активные зоны четырех реакторов без охлаждения, снова вызвала горячие дебаты в обществе об опасностях ядерной катастрофы. Результаты опросов общественного мнения, проведенных в первые же недели после трагических событий, показали, что процент американцев, поддерживающих строительство новых реакторов, упал с 49 до 41. Этот факт отражает недоверие к атомной технологии, существующее несмотря на уверения, что риски ничтожны, а защита реакторов надежна. Однако авария в Фукусиме преподнесла наглядный урок ненадежности оценок рисков.

Несмотря на все предосторожности, ядерная энергетика всегда будет подвержена риску катастроф из-за так называемых «черных лебедей» – чрезвычайно редких и маловероятных событий, влекущих большие последствия. Маловероятное событие (особенно такое, какого еще никогда не было) предсказать очень трудно, затраты на защиту от его возможных послед-

ОБЗОР СТАРЕЮЩЕГО ПАРКА

АЭС производят 20% электроэнергии, вырабатываемой в США. Большинство из 104 действующих сегодня в стране реакторов проработали не меньше 30 лет и, по мнению критиков, не смогут выдержать разрушительное землетрясение, пусть и маловероятное. Комиссия по ядерному регулированию представила в Белый дом обзор по ядерной безопасности. Реакторы, расположенные вблизи тектонических разломов, грозящих землетрясениями (на карте), вызывают опасения. Все они – либо реакторы с кипящей водой (зеленые), либо водо-водяные (оранжевые); 23 из них имеют ту же конструкцию защитных оболочек, что и поврежденные на АЭС «Фукусима-1». Энергетические компании предложили строительство 22 новых реакторов более безопасных конструкций, более половины которых должны составить AP1000 (синие)





РЕАКТОР С КИПЯЩЕЙ ВОДОЙ

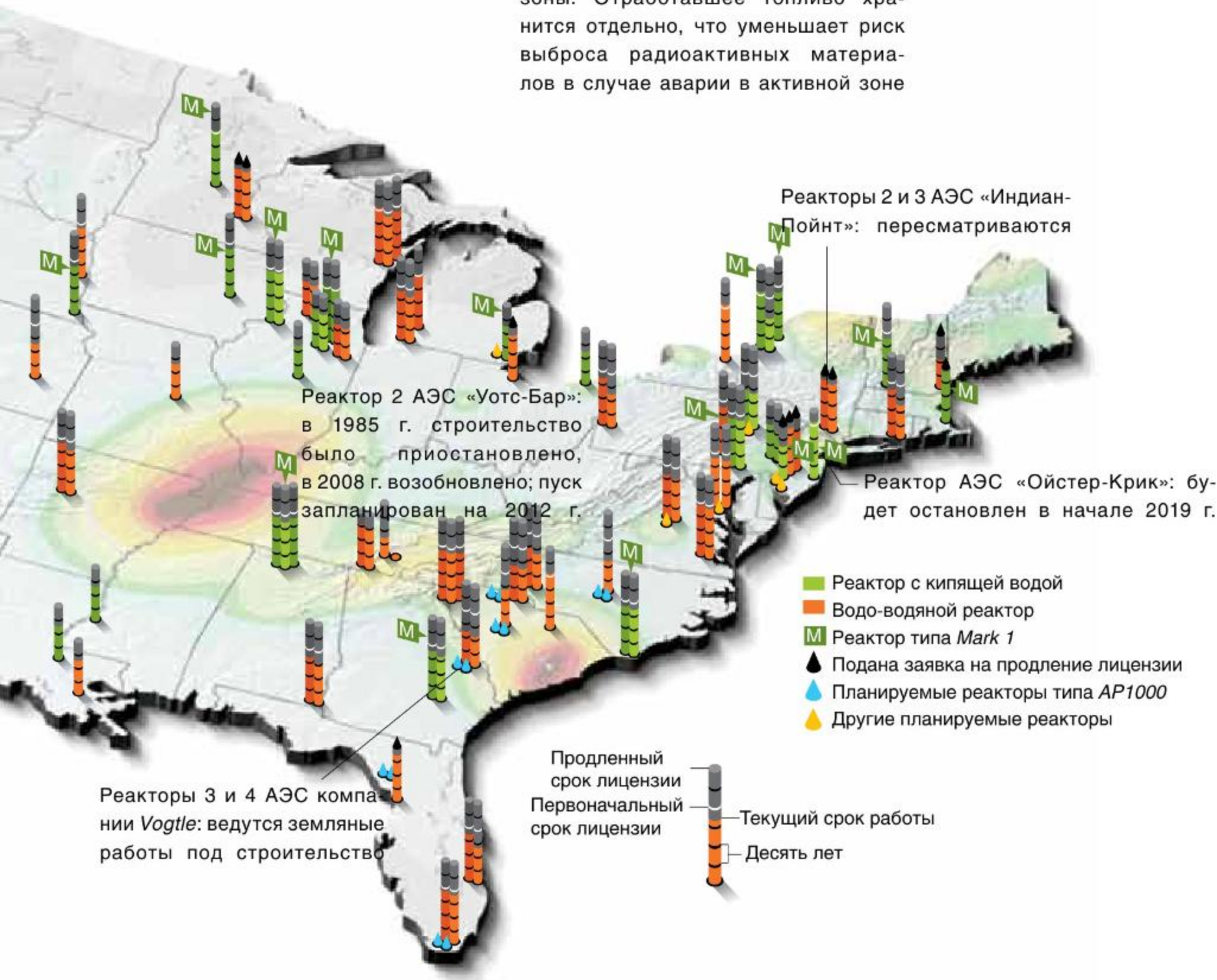
Топливные стержни в активной зоне реактора превращают холодную воду (синяя) в пар (оранжевый), который вращает турбину турбогенератора. Отработанный пар поступает в конденсатор, откуда в виде воды попадает обратно в активную зону. Активная зона окружена защитными оболочками из стали и бетона, но если поступление воды от насосов или из бассейна-барботера в активную зону прекратится на несколько суток, то водород, образующийся в результате реакций водяного пара, может взорвать защитную конструкцию, вызвав выброс радиоактивных материалов из активной зоны или отработанного топлива

ВОДО-ВОДЯНОЙ РЕАКТОР

В активной зоне реактора вода (красная), циркулирующая под давлением в замкнутом контуре, нагревается до высокой температуры, но не кипит. Из активной зоны она поступает в теплообменник-парогенератор, где превращает в пар воду (синяя), циркулирующую во втором контуре. Радиоактивные вещества содержатся только в первом контуре, но в случае отключения энергопитания циркуляция в нем прекращается, что создает опасность расплавления активной зоны. Отработанное топливо хранится отдельно, что уменьшает риск выброса радиоактивных материалов в случае аварии в активной зоне

РЕАКТОР AP1000

В новом водо-водяном реакторе на случай отключения энергопитания предусмотрено охлаждение активной зоны в течение нескольких суток без вмешательства человека. Охлаждающая вода из трех резервуаров внутри защитной конструкции и четвертого на ее крыше будет поступать самотеком





Взрывы и выбросы радиации на электростанции в Фукусиме (Япония) поставили вопрос о безопасности старых реакторов, работающих в США

ствий могут быть огромными, а отмахнуться от него с помощью статистики очень легко. Если ожидаемая частота некоего события составляет всего один раз в 10 тыс. лет, это не значит, что оно не может произойти завтра. К тому же за время обычного для АЭС 40-летнего срока службы оценки могут меняться, как это произошло после теракта 11 сентября 2001 г., в августе 2005 г. после урагана «Катрина» и в марте текущего года после катастрофы на АЭС «Фукусима-1».

Перечень возможных «черных лебедей» очень широк. Ядерные реакторы и хранилища ядерных отходов представляют собой потенциальные мишени для пилотов-террористов на угнанных самолетах. Реакторы могут располагаться ниже плотин, в случае взрыва которых они могут быть затоплены. Некоторые реакторы находятся вблизи тектонических разломов или океанских берегов, где им могут угро-

жать цунами и нагоны воды, вызванные ураганами. Любая из этих угроз может привести к чрезвычайно опасному повороту событий вроде произошедших на «Три-Майл-Айленде» и в Фукусиме: прекращению подачи хладагента, что ведет к перегреву и расплавлению активной зоны реактора и к выбросу огромных количеств радиоактивных материалов, как в результате взрыва в Чернобыле.

Обеспечить защиту от таких сценариев без чрезмерно больших затрат очень трудно. Даже при наилучшей организации лицензирования и строительства один мегаватт мощности АЭС обходится вдвое дороже мегаватта электростанции, работающей на угле, и почти в пять раз дороже мегаватта электростанции, работающей на природном газе. Эта разница может частично компенсироваться меньшими эксплуатационными расходами: уголь почти в пять раз дороже ядер-

ного топлива, а газ – в десять раз. Но компенсация достижима только при условии, что АЭС будет работать на полной мощности много лет. В 1970-х и 1980-х гг. остановки станций на техобслуживание и по соображениям безопасности на время снижали эксплуатационное преимущество. Для повышения конкурентоспособности АЭС компании стремились уменьшить затраты на строительство и сократить простой путем упрощения конструкции и повышения надежности АЭС, не жертвуя безопасностью.

Разумеется, построить реактор, способный выстоять при любых условиях, невозможно, даже если поместить его в защитный железобетонный короб со стенами огромной толщины, установленный в водонепроницаемом подземном бункере, и нанять армию экстрасенсов для предсказаний будущего. При проектировании реактора AP1000 инженеры, несомненно, постарались

проложить оптимальный курс между множеством ограничений, налагаемых физикой, затратами и требованиями защиты от возможных угроз. Итоговая конструкция стала, естественно, результатом ряда компромиссов. В свете Фукусимы общество интересуется в первую очередь единственным вопросом: достаточно ли надежен реактор AP1000?

Пассивная защита от катастроф

AP1000 и другие реакторы «поколения III+», которые рассматривает NRC, спроектированы с расчетом на катастрофу, отличную от произошедшей в Фукусиме. Частичное расплавление активной зоны реактора в 1979 г. на «Три-Майл-Айленде» вблизи Гаррисберга в Пенсильвании – не результат стихийного бедствия, причиной стал человеческий фактор. За несколько месяцев мозгового штурма инженеры усовершенствовали конструкцию реактора, упростив средства защиты и предусмотрев резервную систему охлаждения, которая должна срабатывать без вмешательства человека. Итогом стали реакторы «поколения III+», в частности AP1000.

Охлаждающая вода в реакторе AP1000 циркулирует в замкнутом контуре. Проходя через активную зону, она поглощает тепло, но не превращается в пар, т.к. поддерживается под высоким давлением. Горячая вода из активной зоны поступает в теплообменник-парогенератор, где охлаждается, отдавая тепло воде второго контура. На случай отключения питания циркуляционных насосов предусмотрена аварийная система аккумуляторов. Если и она откажет, вступят в действие природные силы: в реактор будет слита вода из трех аварийных резервуаров, расположенных внутри куполообразного стального кожуха реактора выше активной зоны.

При отключении энергопитания откроются затворы, и холодная вода из резервуаров под действием разностей давлений и темпера-

тур между активной зоной и резервуарами стечет в реактор для охлаждения топливных стержней. Если потребуется, сам купол можно будет охладить снаружи водой из огромного четвертого резервуара, установленного на крыше бетонного здания реактора. Эта вода будет отбирать тепло, испаряясь. Внутри купола пар, поднимающийся из горячей активной зоны реактора, будет конденсироваться на охлаждаемом потолке, а образующаяся вода будет стекать обратно в активную зону. Четвертый резервуар содержит 3 тыс. куб. м воды, чего достаточно для охлаждения реактора в течение трех суток. При этом, как сообщил бывший главный инженер компании Westinghouse Хауард Бруски (Howard Bruschi), резервуар может пополняться через шланги. А через отдушины в здании в него затягивается воздух снаружи, обеспечивая охлаждение стального корпуса реактора.

Важное свойство этих систем защиты, делающее реактор AP1000 более безопасным, чем прежние, состоит в том, что для пуска их в действие не требуется ни электроэнергии, ни вмешательства человека. Поборники таких систем говорят, что будь они на реакторах в Фукусиме, полное отключение станции от энергосети и выход из строя резервных генераторов, приведшие к остановке всех насосов систем охлаждения реакторов, не повлекли бы столь катастрофических последствий. Даже если бы они обеспечивали защиту в течение всего нескольких суток, у инженеров станции было бы время для восстановления энергоснабжения.

В отношении того, способны ли подобные системы предотвратить расплавление активной зоны и выброс радиоактивных материалов в атмосферу, существуют разногласия. Поборники конструкций поколения III+ утверждают, что эти конструкции по крайней мере в десять раз безопаснее 104 действующих сегодня в США реакто-

ров. Другие инженеры более осторожны в оценках. А директор Отдела ядерной энергетики Аргоннской национальной лаборатории Хусейн Халиль (Hussein S. Khalil) утверждает лишь, что «использование природных сил в системах защиты реакторов поколения III+ делает их безопасность сравнимой с безопасностью, обеспечиваемой усовершенствованными средствами защиты, которыми были оснащены существующие АЭС».

Эдвин Лайман (Edwin Lyman), старший научный сотрудник Союза обеспокоенных ученых, не согласен даже с этим. Он поставил под сомнение экономичные конструкции реакторов AP1000 компании Westinghouse и ESBWR компании General Electric (еще одна новая конструкция). Главное опасение Лаймана вызывает прочность стального корпуса и бетонной защиты реактора AP1000. В Фукусиме при заливке воды в корпус реактора для охлаждения топливных стержней инженеры бдительно следили за давлением пара и взрывоопасного водорода.

Лайман утверждает, что корпус реактора AP1000 недостаточно прочен. В качестве меры для оценки удерживающей способности корпуса реактора (т.е. его способности выдерживать рост давления) он использует отношение внутреннего объема корпуса реактора к его тепловой мощности. У предыдущего реактора AP1000 компании Westinghouse, от которого отказались, поскольку его мощность была недостаточной для того, чтобы заинтересовать энергетические компании, это отношение составляло 25,06 куб. м/МВт, примерно как у большинства действующих водородных реакторов. Но у реактора AP1000 мощностью 1,1 тыс. МВт это отношение, по словам Лаймана, составляет всего 17,13 куб. м/МВт. Кроме того, он считает корпус и здание реактора дорогими.

Бруски возражает, что AP1000 с хорошим запасом укладывается в требования норм NRC, добавляя, что дополнительное охлажде-

АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

ние, обеспечиваемое пассивными системами, скорее всего уменьшит давление, которое может создаться в корпусе при крупной аварии. И в этом с ним согласны ряд инженеров-ядерщиков. Лаймана, однако, тревожит, что в результате катастрофы давление в системе может превысить ожидаемые многими инженерами пределы.

Лайман больше доверяет конструкции *EPR* компании *Areva*, разработанной в сотрудничестве с немецкими и французскими энергетическими компаниями и европейскими регламентирующими органами, которую рассматривает сегодня *NRC*. Вместо пассивных систем в ней используются четыре основных аварийных дизель-генератора и два резервных, причем размещаются они в двух отдельных водонепроницаемых зданиях, расположенных на противоположных сторонах электростанции. При такой расстановке одновременный выход из строя всех аварийных источников питания крайне маловероятен, говорит Марти Парес (Marty Pares), вице-президент Группы реакторов и бизнес-услуг компании *Areva*. На случай если такое событие все же произойдет, для реактора *EPR* предусмотрены здание с двойными стенами большой толщины и ловушка радиоактивных материалов активной зоны – устройство, которое соберет расплавившееся ядерное топливо, удержит его и зальет поступающей самотеком водой. Это предотвратит утечку расплавленного радиоактивного ядерного топлива через пол.

Безопасность и ее цена

Для конструкторов ядерных реакторов создать защиту от всех возможных видов катастроф – непозволительная роскошь. Тем не менее им приходится учитывать множество сценариев, и проблема здесь в том, что каждая из угроз требует своих средств защиты, и иногда подготовка к одной дается ценой ослабления защиты от другой. Старший инженер-конструктор *NRC* Джон Ма

(John Ma) – вероятно, наиболее вездливый критик новых реакторов *API000* с пассивной защитой. В 2009 г. *NRC* изменила требования к безопасности с учетом трагедии 11 сентября 2001 г., потребовав обеспечения защиты от прямого удара тяжелого самолета. Для удовлетворения этому требованию компания *Westinghouse* предусмотрела покрытие бетонного здания реактора стальными плитами.

В прошлом году Ма, входящий в состав членов *NRC* с момента ее создания в 1974 г., высказал первое в своей карьере возражение, когда *NRC* одобрила проект *API000*. Ма утверждал, что некоторые части стальной оболочки столь непрочны, что «энергия удара» самолета или несомого ураганом ветром предмета может разрушить стену. Группа технических экспертов, нанятая компанией *Westinghouse*, не согласилась с ним, как и несколько инженеров, сотрудничавших с Консультативным комитетом *NRC* по мерам безопасности ядерных реакторов. Они рекомендовали одобрить проект.

Более высокую степень защиты обеспечивают, по-видимому, другие, более радикальные конструкции. В разрабатываемых сейчас конструкциях поколения III+ с шаровыми ТВЭЛ (тепловыделяющими элементами, представляющими собой графитовые шары с содержащимися внутри мелкими зёрнами делящегося материала) для охлаждения применяется не вода, а газ. Графит замедляет процесс деления, уменьшая вероятность перегрева активной зоны, а вероятность взрыва охлаждающего газа намного меньше, чем превращающейся в пар воды. Заслуживают рассмотрения и несколько других конструкций – так называемых малых модульных реакторов, мощность которых меньше, чем больших, но и стоимость ниже. Их достоинство в том, что они выделяют намного меньше тепла, поэтому их легче охлаждать.

Большинство специалистов удовлетворены тем балансом безопас-

ности и затрат, которого добилась компания *Westinghouse*, и считают, что ее система обеспечивает достаточную защиту от большинства предвидимых аварий.

Нехватка воображения

Однако события на АЭС «Фукусима-1» подняли вопросы, выходящие за пределы выбора конструктивных предпочтений. Одной из причин катастрофы стала нехватка воображения, которой подвержены все регламентирующие органы и все конструкторы. Электростанция в Фукусиме была рассчитана на землетрясения силой до 8,2 баллов, и значение 9,0 баллов укладывалось в ее расчетные пределы безопасности. Но для цунами расчет делался на высоту волны до 5,7 м, а обрушившаяся волна имела высоту 14 м. И она не была беспрецедентной: директор Сейсмологического центра Геологической службы США в Менло-Парке Томас Брочер (Thomas Brocher) утверждает, что сравнимые по силе землетрясение и подобной высоты цунами уже обрушивались на этот район в 869 г. н.э. Когда инженеры допускают такие ошибки в исходных данных – относительно реактора, моста или небоскреба, – все расчеты становятся неверными.

В США подобные просчеты представляются менее вероятными, поскольку *NRC* требует от операторов демонстрации того, что их станции выдержат «с надлежащим запасом» самые мощные наводнения, цунами и землетрясения, когда-либо, по всем имеющимся сведениям, происходившие в соответствующих местах, говорит представитель *NRC* Брайан Андерсон (Brian Anderson). Этот стандарт основывается на оценке самого сильного землетрясения в данной местности за последние 10 тыс. лет с помощью моделирования. Коэффициент запаса обычно выбирается в пределах от 1,5 до 2, говорит Божидар Стоядинович (Bozidar Stojadinovic), специалист по сейсмостойкости из Калифорнийского университета в Беркли и консультант *NRC*.

Однако инженеры могут подготовиться только к тем событиям, которые способны предвидеть. Сейсмологи постоянно обнаруживают новые риски землетрясений. Несколько десятилетий назад возможность землетрясения или цунами на северо-западе тихоокеанского побережья США представлялась отдаленной. Тогда ученые датировали гибель виргинских кипарисов 1700 г. и предположили, что причиной стало случившееся в названном году землетрясение. Обнаруженные в Японии сведения о цунами подтвердили это предположение. Двигаясь назад, ученые определили, что землетрясение силой 9,0 баллов охватило зону от севера острова Ванкувер до северной части Калифорнии. Это открытие навсегда изменило требования к сейсмостойкости сооружений, возводимых в этом регионе. Две АЭС, построенные ранее в Орегоне и в Северной Калифорнии, уже выведены из эксплуатации.

На восточном побережье США землетрясения настолько редки, что анализ их возможности и вероятных последствий казался далеко не самым важным делом. Однако в радиусе 80 км от реактора АЭС «Индиан-Пойнт», что находится в 60 км к северу от Нью-Йорка, живет почти 6% населения США. Плотность населения здесь выше, чем в окрестностях любой другой АЭС в стране. Мнения сейсмологов о том, какой из тектонических разломов в этом регионе с наибольшей вероятностью может вызвать землетрясение и как они взаимодействуют между собой, расходятся, говорит сейсмолог Джон Ибел (John E. Ebel) из Бостонского колледжа. Одно из исследований, проведенное в 2008 г., показало, что несколько небольших локальных разломов, считавшихся неактивными, на самом деле могут породить сильное землетрясение.

Фукусима показала, что необходима «новая парадигма», указывает профессор Надж Мешкати (Naj Meshkati) из Университета Южной Калифорнии, специалист по

влиянию землетрясений на АЭС. «Наши проекты создавались на основе представления о крайне маловероятных возможностях, – говорит он, – однако инженеры не очень сильны в проектировании с расчетом на крайне маловероятное событие, особенно если ничего подобного еще не происходило». Такая неопределенность не позволяет понять, достаточно ли двукратного запаса прочности.

С другой стороны, ни одно построенное человеком сооружение не обладает стопроцентной сейсмостойкостью, отмечает член консультативного совета NRC по безопасности реакторов Майкл Коррадини (Michael Corradini). «Вопрос в том, для чего вы создаете проект и готово ли общество понять и принять данный запас прочности».

Какую безопасность можно считать безопасной? В отношении атомной энергии для осмысленного ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть возможные альтернативы и род риска, с которым вы согласны жить. По данным Министерства энергетики США, уголь дает половину производства электроэнергии в стране и 80% выбросов CO₂ в атмосферу; АЭС дают 20% электроэнергии и не дают никаких выбросов CO₂. По данным исследования, заказанного группой «За чистый воздух» (*Clean Air Task Force*), загрязнения, которые создают всего две работающие на угле электростанции на северо-востоке США, ежегодно становятся причиной десятков тысяч случаев приступов астмы и сотен тысяч заболеваний верхних дыхательных путей с 70 смертельными исходами. Природный газ дает меньше загрязнений, но появляется все больше свидетельств, что некоторые методы его добычи создают угрозу окружающей среде и здоровью человека.

Проблемы, высвеченные аварией на АЭС «Фукусима-1», могут расстроить планы строительства некоторых новых реакторов, но необходимость борьбы с глобальным потеплением и потребность в энергии дают основания полагать,

что возрождение атомной энергетики продолжится. В феврале 2010 г., после того как президент Обама объявил о гарантиях в сумме \$8,3 млрд на обусловленные займы, министр энергетики США Стивен Чу (Stephen Chu) поддержал план строительства реактора AP1000. «Проект компании Vogtle (в Джорджии) поможет Америке вернуть лидерство в области ядерной энергетики», – сказал он. Хроника атомной энергетики также свидетельствует в пользу сторонников нового строительства. Что касается опасений в связи с аварией на «Три-Майл-Айленде», следует иметь в виду, что от нее не пострадал ни один человек. Правда, в хрониках не может быть записей о событиях, которые еще не происходили, но ведь когда-нибудь они могут там появиться. ■

Перевод: А.А. Сорокин

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Nuclear Power in a Warming World. Lisbeth Gronlund et al. Union of Concerned Scientists, December 2007. Доступно онлайн на www.ucsusa.org
- The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study. Massachusetts Institute of Technology, 2009. Доступно онлайн на <http://web.mit.edu/nuclearpower>
- Институт атомной энергетики США: www.nei.org
- Комиссия по ядерному регулированию США: www.nrc.gov
- Всемирная ядерная ассоциация: www.world-nuclear.org

Составитель: Феррис Дабр

В ЧЕСТЬ НОБЕЛЕВСКИХ ЛАУРЕАТОВ

В июне лауреаты Нобелевской премии в очередной раз встретились с молодыми коллегами, чтобы обменяться с ними мыслями и идеями о нынешнем состоянии науки и ее будущем. Мы публикуем выдержки из статей некоторых удостоенных высшей награды ученых, когда-то напечатанных в нашем журнале

Перевод: А.Я. Басова, Н.Н. Шафрановская

Каждый год нобелевские лауреаты приглашают молодых ученых из разных стран в немецкий город Линдау для совместного обсуждения наиболее интересных научных вопросов. В этом году предметом дискуссий были физиология и медицина. На встречу приехали 20 лауреатов и 550 перспективных ученых более чем из 60 стран. В ознаменование этого события мы публикуем выдержки из наиболее интересных статей, написанных для нашего журнала лауреатами премии в период с 1950-х гг. до наших дней. Большинство материалов серьезно сокращены.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

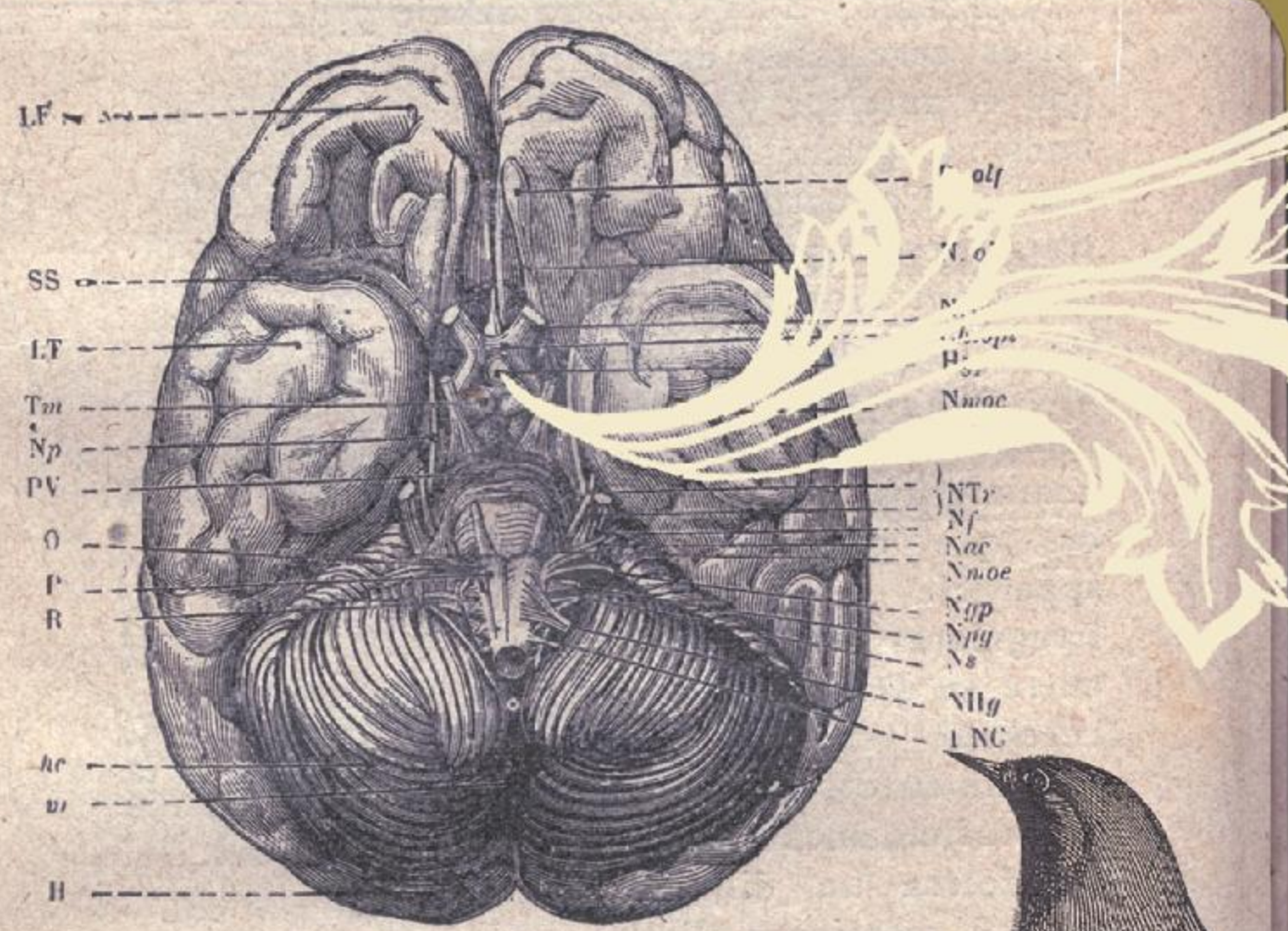
- В конце июня 20 нобелевских лауреатов в области физиологии и медицины встретились в немецком городе Линдау с сотнями молодых ученых.
- В ознаменование этого события мы публикуем сокращенные варианты статей, написанных для нашего журнала некоторыми из участников встречи в разные годы.
- В статьях по биологии клетки основное внимание уделено происхождению и структуре ключевых органических молекул и образованию сложных клеток.
- Ряд статей посвящены патогенезу различных заболеваний, поведению животных, функционированию мозга, природе мышления.





ALFR.
NOBEL

NAT.
MDCCC
XXXIII
OB.
MDCCCO
XCVI



L.F.
SS
L.F.
Tm
Np
PV
O
P
R
hc
vi
H

olf
o
N
Nuo
NTy
Nf
Nae
Nnoe
Nyp
Npy
Ns
Nllg
INC

Fig. 143. Cara inferior del encéfalo

L. F. lóbulo frontal.—B. olf. bulbo olfactorio.—N. olf. nervio olfactorio



ЖИВАЯ КЛЕТКА

Точность, с которой клетки выполняют свою работу, и в то же время их способность видоизменяться поражают. Вы убедитесь в этом, ознакомившись с выдержками из статей, в которых рассказывается о появлении первых крупных биологических молекул, о взаимосвязи их структуры и функции, о формировании сложных клеточных систем

Структура наследственного материала



Фрэнсис Крик
(лауреат Нобелевской
премии 1962 г.)

Опубликовано в октябре 1954 г.

Теперь мы знаем, что остов молекулы ДНК – длинная цепочка из сахарофосфатных групп, в которых сахар всегда представлен дезоксирибозой. Остов – регулярная структура без отклонений, чего нельзя сказать о молекуле ДНК в целом, поскольку у каждой сахарофосфатной единицы имеется свой «довесок» – азотистое основание. Всего таких оснований четыре: аденин и гуанин относятся к классу пуринов, тимин и цитозин – к классу пиримидинов. Основания располагаются вдоль цепи беспорядочно, и в этом отношении разные сегменты ДНК отличаются друг от друга. Из химической формулы ДНК следует, что это цепная молекула, но мы не знаем, какова ее пространственная конфигурация.

Джеймс Уотсон (James D. Watson) и я сошлись на том, что о структуре ДНК можно кое-что узнать из пространственных моделей, построенных по данным рентгеновской дифракции. Нам пришлось сделать несколько предположений. Самое существенное – повторяющиеся рефлексы на рентгенограмме располагались на значительно большем расстоянии друг от друга, чем повторяющиеся химические единицы в полинуклеотидной цепи. Возможно, соответствующие химические связи одинаковы, но

рентгеновский аппарат видит только каждую десятую из них, скажем, те, которые располагаются под определенным углом. Что за структура могла дать такую дифракционную картину? Ответ прост: спираль! Расстояние между рефлексами на рентгенограмме в таком случае соответствует расстоянию от одного витка спирали до другого.

В рамках этой модели предполагалось, что две цепи ДНК закручены одна вокруг другой и имеют общую ось, а стабилизируется вся структура с помощью слабых химических связей между основаниями взаимно противоположных цепей. Для того чтобы такая структура была максимально симметричной, последовательность атомов в одной цепи должна быть противоположна их последовательности в другой.

Далее обнаружилось, что основания противоположных цепей должны быть встроены в структуру парами определенного состава. Один из компонентов пары – пурин, более крупный нуклеотид, второй – непременно пиримидин, помельче. Пара пиримидинов имеет недостаточную длину для образования мостика между цепями, а пара пуринов между ними не помещается. Аденин всегда находится в паре с тимином, а гуанин – с цитозином.

Модель объясняет, каким образом ДНК воспроизводит сама себя. Молекула состоит из двух комплементарных частей, в результате каждая из них может служить матрицей для синтеза другой. Цепи могут локально расплетаться, и на каждой из них начинается синтез второй. По окончании процесса мы получаем две молекулы ДНК вместо одной. Более того, последовательность пар оснований в молекулах оказывается идентичной. Другими словами, матрица не только укладывает строительные блоки, но и соединяет их в правильном порядке.

Происхождение жизни



Джордж Уолд
(лауреат Нобелевской
премии 1967 г.)

Опубликовано
в августе 1954 г.

Крупные органические молекулы образуют невообразимо сложные и разнообразные пространственные структуры. Для того чтобы понять, каким образом на Земле появились живые существа, нужно раз-

браться, откуда взялись эти макромолекулы. Они должны не только присутствовать в организме в нужном количестве и необходимых пропорциях, но и иметь правильную пространственную конфигурацию. Их структура не менее важна, чем состав.

Недавно Гарольд Юри (Harold Urey), лауреат Нобелевской премии по химии, решил выяснить, могли ли электрические разряды в верхних слоях атмосферы Земли способствовать образованию органических веществ. Один из его студентов поставил простой эксперимент: в течение недели пропускал электрический разряд через смесь водяных паров, метана (CH_4), аммиака (NH_3) и водорода – газов, присутствовавших в атмосфере первобытной Земли. Циркуляция смеси осуществлялась парами воды, которая доводилась до кипения в одном отсеке аппарата и конденсировалась в другом. Через неделю пробу воды исследовали методом бумажной хроматографии и обнаружили в ней несколько аминокислот! Это были самые простые из них, глицин и аланин, представленные в белковых молекулах в наибольших количествах. Кроме того, имелись указания на присутствие аспарагиновой и еще двух аминокислот. Этот поразительный результат радикальным образом изменил наши взгляды.

Недавно появились неоспоримые данные о спонтанном формировании белковыми молекулами основных типов биологических структур. Изолированное волокно хряща или мышцы выглядит под электронным микроскопом как причудливый, но строго упорядоченный узор из переплетенных бороздок разной ширины. В водном растворе белковые молекулы, образующие данные волокна, имеют хаотичную ориентацию и никак не структурированы, но при осаждении в определенных условиях с удивительной точностью воссоздают тот узор, который они образуют в составе волокон.

Таким образом, имеются веские основания предполагать, что молекулы первичного бульона, каким был Мировой океан первобытной Земли, не только спонтанно объединялись, но и образовывали структуры разной степени упорядоченности.

Рождение сложной клетки



Кристиан де Дюв
(лауреат Нобелевской
премии 1974 г.)

Опубликовано в апреле 1996 г.

Первые живые организмы появились на Земле примерно 3,7 млрд лет назад. Это были одноклеточные, подобные некоторым современным бактериям. Прокариоты оказались чрезвычайно успешными. Благодаря своей уникальной способности эволюционировать и приспосабливаться к изменяющимся условиям они быстро размножились и заполнили все экологические ниши, существовавшие в то время на Земле. Биосфера нашей планеты так и оставалась бы «прокариотической», если бы не появились клетки совершенно другого типа, эукариотические, имеющие оформленное ядро. Из них и состоят все современные многоклеточные организмы. Вероятнее всего, эти клетки произошли от прокариотических. Но каким образом?

Для того чтобы по достоинству оценить значимость такого удивительного эволюционного процесса, необходимо понять, в чем принципиальное различие между основными типами клеток. Эукариотические клетки гораздо крупнее прокариотических (в 10 тыс. раз по объему). У прокариот весь генетический материал представлен единственной кольцевой молекулой ДНК, ничем не отграниченной от клеточного содержимого. У эукариот большая часть ДНК входит в состав структурированных хромосом, сосредоточенных в ядре, расположенном в центре клетки. В их цитоплазме содержится до нескольких тысяч специализированных структур, так называемых оргanelл. Среди наиболее важных из них – пероксисомы (связанные с окислительными реакциями), митохондрии (энергетические фабрики клеток), у водорослей и растительных клеток – пластиды (в них осуществляется фотосинтез).

Долгое время бытовало мнение, что митохондрии и пластиды происходят от бактерий, которые «прижились» в некоторых предковых клетках-хозяевах как эндосимбионты. Наиболее убедительным свидетельством в пользу такого предположения служит наличие в этих органеллах рудиментарного, но все же функционирующего генетического аппарата. Он содержит гены, опосредующие репликацию ДНК, и все молекулярные инструменты, необходимые для синтеза белков. «Усыновление» эндосимбионтов часто представляют как результат некоего взаимодействия двух типов прокариот – агрессивного хищничества, миролюбивого поглощения, взаимовыгодной ассоциации или слияния. Есть и другое объяснение – исходно эндосимбионты просто служили пищей для необычайно крупных клеток-хозяев, уже приобретших многие свойства, характерные для будущих эукариот. Поглощать прокариот способны многие современные клетки, например лейкоциты. В редких случаях это оказывается выгодным как для «хищника», так и для «жертвы». Итак, возможно, митохондрии и пластиды когда-то были простыми гостями клеток-хозяев, а затем превратились в полноправных жильцов.



ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Многие нобелевские лауреаты, писавшие статьи для *Scientific American*, обогатили человечество знаниями о микроорганизмах и молекулярных основах страшных заболеваний

Прионные заболевания



Стэнли Прузинер
(лауреат Нобелевской
премии 1997 г.)

Опубликовано в январе 1995 г.

Предположение, что инфекционные агенты, вызывающие некоторые дегенеративные заболевания центральной нервной системы у животных, а иногда и у человека, – «голые» белки, было встречено научным сообществом с изрядной долей скептицизма. Согласно общепринятому мнению, для передачи инфекции и ее поддержания необходим генетический материал – ДНК или РНК. Даже вирусы, самые простые из всех микроорганизмов, не исключение. С таким же недоверием отнеслись многие мои коллеги к идее, что «белковые инфекционные частицы» (я назвал их прионами) могут быть причиной наследственных и инфекционных заболеваний. Подобный дуализм в то время был науке неизвестен. Нам пришлось еще раз преодолевать скептицизм научного сообщества, когда мы заявили, что прионы способны размножаться: они превращают нормальные белковые молекулы в болезнетворные, заставляя их изменить конформацию. Сегодня множество экспериментальных и клинических данных подтверждают нашу правоту.

Прионные заболевания называют иногда губчатой (спонгиозной) энцефалопатией, поскольку они часто проявляются образованием пустот в головном мозге из-за разрушения мозговой ткани. Болезнь, развивающаяся годами (а иногда десятилетиями), широко распространена среди животных. Наиболее часто встречающаяся ее разновидность – скрепи, поражающая овец и коз, а наиболее тяжелая – коровье бешенство. (К числу прионных заболеваний человека относится болезнь Крейтцфельда – Якоба, которая характеризуется прогрессирующим слабоумием.)

Мы не только показали, как прионы размножаются и вызывают заболевания без участия нуклеиновых кислот, но также выяснили, как конкретный белок – возбудитель скрепи – распространяется в клетках. Многие детали данного процесса еще предстоит исследовать, но ясно одно: основное различие между нормальным белком и прионом заключается в несхожести их конформации. Очевидно, прион скрепи распространяется через контакт с его нормальным аналогом. При этом последний разворачивается и принимает конформацию, характерную для аномальной формы, что вызывает целый каскад аналогичных событий с образованием патогенных форм.

Все имеющиеся данные указывают на то, что это совершенно новый тип инфекционных агентов и что прионные заболевания – результат aberrаций конформации белков. Причастны ли аналогичные aberrации к развитию других, более распространенных патологий, например болезни Альцгеймера, неизвестно, но исключить этого нельзя.

Вирусы



Фрэнк Бернет
(лауреат Нобелевской
премии 1960 г.)

Опубликовано в мае 1951 г.

Вирусы – микроорганизмы, уступающие по размерам большинству бактерий, – способны размножаться только в определенных условиях. Результативность контроля распространения вирусных заболеваний зависит от того, насколько глубоко мы понимаем механизмы поддержания и смещения баланса между вирусами и их хозяевами под действием разнообразных факторов. На пути к расшифровке этих процессов возникли два взаимосвязанных понятия – бессимптомная инфекция и иммунизация.

При бессимптомной инфекции зараженный человек не проявляет признаков заболевания. Во время эпидемий число таких индивидов часто многократно превышает число серьезно больных. Например, если в семье один ребенок заболел полиомиелитом и все симптомы патологии налицо, то при обследовании остальных детей вирус обычно будет обнаруживаться в их кишечнике в течение одной-двух недель, но симптомы могут отсутствовать вообще или быть слабыми. К счастью, даже бессимптомная инфекция обеспечива-

ет на какое-то время невосприимчивость к повторному заражению – важнейший фактор поддержания приемлемого баланса между человечеством и популяциями вирусов. Плохо то, что вирусы чрезвычайно легко подвергаются мутационным изменениям, и безобидные сегодня могут превратиться в опасные патогены завтра.

В научном мире нет единого мнения относительно природы иммунитета, но большинство вирусологов уверены в том, что он опосредуется антителами. Их можно представить как видоизмененные белки крови, связывающиеся с определенными вирусными частицами или другими чужеродными агентами, которые и провоцируют выработку антител в организме. Достаточное их количество блокирует связывание большинства патогенов с клетками организма-хозяина, что необходимо им для размножения. Антитела появляются в кровотоке через несколько дней после заражения, а максимума их концентрация достигает через две-три недели. Организм продолжает вырабатывать антитела, правда, в значительно меньшем количестве, спустя долгое время после выздоровления, а при таких заболеваниях, как корь или желтая лихорадка, – всю оставшуюся жизнь.

Теломеры, рак и теломераза



Кэрл Грейдер и Элизабет
Блэкберн (лауреаты
Нобелевской премии 2009 г.)

**Опубликовано
в феврале 1996 г.**

Итогом 15 лет исследований стала идентификация необычного фермента, названного теломеразой, который воздействует на теломеры (кончики хромосом) и, по-видимому, выступает

непрерывным участником процессов, ответственных за развитие онкологических заболеваний. Раковая трансформация клетки происходит в результате накопления мутаций в ее геноме, что приводит к утрате контроля клеточного деления. Беспорядочно размножаясь, клетки могут проникнуть в соседние органы и ткани и помешать их нормальному функционированию. Некоторые раковые клетки разносятся с кровью и лимфой по всему организму и дают начало новым очагам малигнизации.

Дискуссии о возможной причастности теломеразы к возникновению рака восходят к началу 1990-х гг., но экспериментальные данные в пользу гипотезы получены относительно недавно. Они привели к созданию пока гипотетической модели активации теломеразы в норме и при патологиях. Согласно ей, фермент обычно вырабатывается клетками зародышевой линии во время эмбрионального развития. Когда формирование организма заканчивается, синтез молекул теломеразы во многих соматических (неполовых) клетках прекращается, и теломеры укорачиваются с каждым раундом клеточного деления. При уменьшении их длины до некоего

порогового уровня клетка посылает сигнал, прекращающий последующее деление.

Если же в генетическом материале клетки возникают мутации, провоцирующие раковую трансформацию, то предупреждающий сигнал не генерируется, или клетка не реагирует на него и продолжает делиться. Теломеры в таких клетках становятся все короче, в хромосомах происходят незапланированные перестройки и возникают новые мутации. Когда теломеры утрачиваются, клетки, как правило, погибают. Но если хромосомные aberrации в докризисный период провоцируют образование теломеразы, полной утраты теломер не происходит, и генетически модифицированные клетки становятся бессмертными, т.е. приобретают черты раковых клеток.

Этот сценарий получил экспериментальное подтверждение. Подводя итог, можно предположить, что многим раковым клеткам теломераза нужна именно для того, чтобы иметь возможность делиться бесконечно долго.

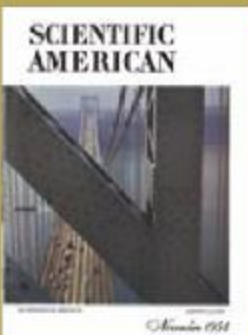
Наличие теломеразы в раковых клетках разного типа и ее отсутствие во многих нормальных клетках означает, что данный фермент может служить специфической мишенью для противоопухолевых препаратов. Вещества, способные блокировать фермент, тем самым убивают атипичные клетки: их теломеры продолжают укорачиваться и в конце концов исчезают. Здоровые клетки в целом остаются незатронутыми. Современные противоопухолевые препараты разрушают и больные, и здоровые клетки. Поскольку теломераза присутствует в раковых клетках разного типа, вещества, нацеленные на нее, могут оказаться эффективными для борьбы с широким спектром онкологических заболеваний.



МИР ЖИВОТНЫХ

В то время как одни биологи занимались исследованием свойств живых клеток, другие наблюдали за поведением животных, пытаясь понять биологический смысл их загадочных действий

Ухаживание в царстве животных



Нико Тинберген
(лауреат Нобелевской
премии 1973 г.)

Опубликовано в январе 1995 г.

Позы и телодвижения партнеров во время брачных церемоний поистине загадочны. На первый взгляд, неясны не только их причины, но и их физиологическое значение. Даже простейшее предположение, что специфическое поведение самца побуждает самку к половой активности, требует доказательств. Почему самку нужно стимулировать к спариванию столь изощренным способом, и что еще должен предпринять самец, чтобы добиться взаимности? Мы думаем, что брачные церемонии служат не только для того, чтобы вызвать у партнерши соответствующую реакцию; они также предотвраща-

ют ее нежелательные действия – агрессивное поведение или бегство.

Вот как это происходит у озерных чаек в сезон размножения. Еще не обзаведшийся партнершей самец обосновывается на территории будущего спаривания. Он реагирует на любую другую чайку, оказавшуюся неподалеку, издавая протяжный крик и принимая позу, которая отпугивает других самцов, но привлекает самок. Рано или поздно одна из них подлетает к самцу. Оба приветствуют друг друга демонстрацией подчинения – головы наклонены, клювы подняты вверх. Через несколько секунд почти одновременно и самец, и самка поворачивают голову с опущенным клювом в сторону

Эволюция поведения



Конрад Лоренц
(лауреат
Нобелевской
премии 1973 г.)

Опубликовано в декабре 1958 г.

Все мы знаем, насколько сильно может различаться поведение животных, особенно под воздействием обучения. Может ли оказаться так, что в основе этих различий лежит некая внутренняя наследуемая поведенческая структура, характерная для всех представителей данного вида, рода или более крупной таксонометрической единицы – точно так же, как скелет первобытного существа характеризует форму и строение всех ныне живущих млекопитающих?

Всякий, кто наблюдал за собакой, почесывающей морду, или за птицей, чистящей перья на голове, мог заметить, что делают они это одинаково. Собака опирается на три «точки»: бедро и две передние лапы; одна из задних лап вытянута далеко вперед. Удивительно, что большинство птиц (а также почти все млекопитающие и рептилии), чешась, принимают точно такую же позу. Казалось бы, птице проще дотянуться ногой до головы, не совершая никаких манипуляций крыльями, сложенными на спине и ничему не мешающими. Как объяснить такую странную позу? Мы решили, что она имеет врожденный характер. Чтобы почистить перья, птица воссоздает расположение конечностей своего четвероногого предка, общего для нее и млекопитающих.

Сравнительное изучение стандартов двигательной активности – важная часть нашей исследовательской программы. Объектами наблюдений стали различные виды утиных.

Выявляя минимальные различия в их поведенческих особенностях, с одной стороны, и в поведении гибридов – с другой, мы надеемся раскрыть тайну филогенеза поведения.

Наша задача – узнать, как в ходе эволюции закрепился стереотип брачного поведения уток. Что происходит при скрещивании разных видов этих птиц? Мы получаем новые комбинации двигательной активности, в которых часто объединяются признаки, характерные для обоих партнеров, иногда подавляются признаки одного из них, а иногда появляются признаки, не свойственные ни одному из членов пары. Мы даже воспроизвели некоторые комбинации поведенческих признаков, которые встречаются у видов, отличных от тех, к которым относились родители гибридов.

Итак, мы показали, что особенности стереотипов двигательной активности, определяющие различие между видами, могут быть воспроизведены путем гибридизации. Из этого следует, что стереотипы движений зависят от довольно простых сочетаний генетических факторов.

от партнера (еще один жест подчинения). Большую часть этих движений совершают и самцы-соперники. Они могут издавать протяжные крики, принимать вызывающие позы.

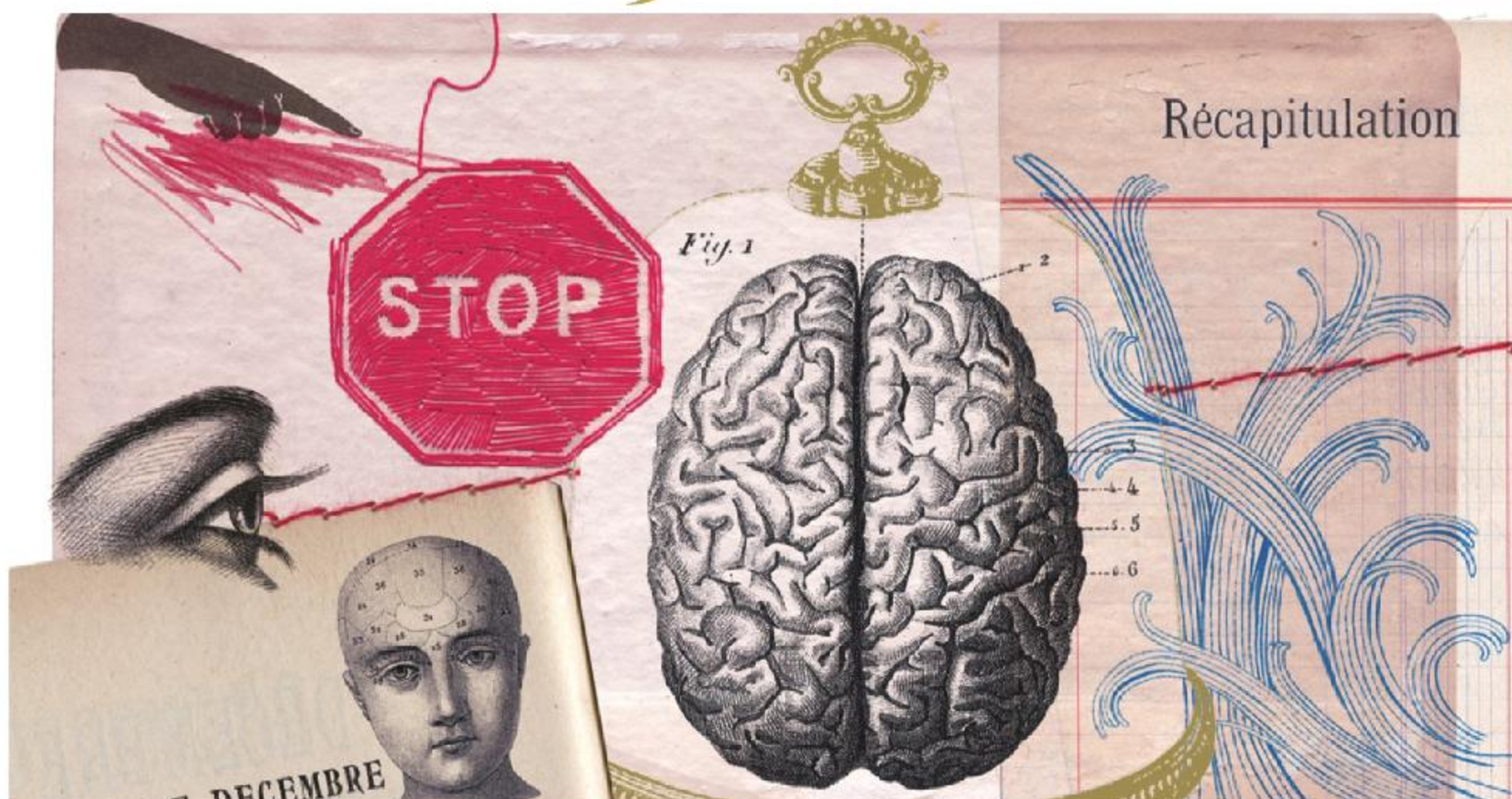
Последнее звено во всей цепочке ритуальных поз – поворачивание головы с опущенным клювом в сторону – отличается от предыдущих: оно не выражает никакой угрозы. Иногда такие же телодвижения мы наблюдаем во время поединка между самцами – они указывают на желание уклониться от драки. Данный жест оказывает странное воздействие на атакующего: как только противник отворачивает голову, тот сразу же прекращает свои выпады. Драка прекращается, по-

скольку поза выглядит как умиротворяющий жест – что-то вроде готовности «подставить другую щеку». Итак, противостояние самцов начинается с взаимных угроз и заканчивается позами примирения.

Такое поведение свойственно не только чайкам. Ритуала ухаживания придерживаются и многие другие птицы, а также представители совершенно других родов животных, например рыбы.

Остается неясным вопрос: опосредуется ли подобная череда изменений мотивации какими-то гормональными процессами, связанными, например, с развитием гонад? Ответ смогут дать только будущие исследования.

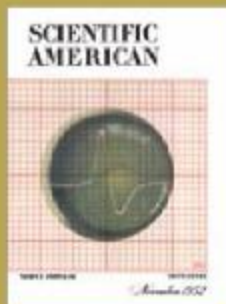
Всякий, кто наблюдал за собакой, почесывающей морду, и за птицей, чистящей перья на голове, могли заметить, что делают они это одинаково



ГОЛОВНОЙ МОЗГ И МЫШЛЕНИЕ

Нервная система высших животных чрезвычайно сложна, но многолетние усилия вывели физиологов на верную дорогу к разгадке тайны функционирования и связи миллиардов нейронных цепей мозга с мышлением

Нервный импульс



Бернард Кац
(лауреат Нобелевской
премии 1970 г.)

Опубликовано в декабре 1952 г.

По мнению некоторых известных нейрофизиологов, разумнее всего изучать и анализировать свойства нервных волокон, используя электрофизиологические методы. Нервное волокно, по существу, представляет собой цепочку реле. Каждая точка волокна получает электрический сигнал от предыдущей, усиливает его до пороговой величины и передает дальше. Не успев значительно ослабнуть, сигнал активирует волокно, передает ему свою энергию и возобновляет дальнейшее распространение. Разность электрических потенциалов между внутренней и наружной мембранами волокна (трансмембранный потенциал) устанавливается таким образом, что внутренняя часть клетки заряжена отрицательно относительно окружающей среды. Такое явление называется поляризацией мембраны. Потенциал покоя нейрона поддерживается благодаря активному транспорту и диффузии ионов натрия через мембрану.

При стимуляции волокна электрическим током происходит изменение состояния натриевых каналов. Они снабжены воротами, кратковременное открывание которых в ответ на электрический сигнал пороговой величины увеличивает проницаемость мембраны для

ионов натрия. Положительно заряженные ионы устремляются внутрь и уменьшают отрицательный заряд аксоплазмы. Это приводит к деполяризации мембраны: трансмембранный потенциал меняется с отрицательного до нулевого, а затем становится положительным, что усиливает поступление в клетку натрия и ведет к дальнейшей деполяризации. Таким образом, описанные два процесса стимулируют друг друга. Происходит взрывообразное (в течение тысячных долей секунды) ускорение потока натрия внутрь аксона. Нервный импульс представляет собой волну деполяризации, распространяющуюся по поверхности нейрона. Распространение происходит вследствие генерирования потенциалов действия за счет поступающих в аксон ионов натрия. Последние создают внутри клетки зону положительного заряда и приводят к возникновению локальной электрической цепи, по которой течет местный ток между этой и соседней отрицательными зонами. Он снижает мембранный потенциал в данной зоне, в результате деполяризации повышается проницаемость мембраны для натрия и генерируется потенциал действия. Последовательная деполяризация все новых и новых участков мембраны приводит к распространению потенциала действия по аксону. Амплитуда его не зависит от интенсивности сигнала; говорят, что потенциал действия подчиняется закону «все или ничего»: он либо не возникает вообще при низкой интенсивности сигнала, либо, если возникает, то его амплитуда далее остается постоянной. Однако интенсивность сигнала влияет на частоту потенциалов действия, т.е. здесь можно говорить о своего рода частотном коде.

Нервные клетки и поведение



Фрэнк Бернет
(лауреат Нобелевской
премии 1960 г.)

Опубликовано в июле 1970 г.

Прогресс, достигнутый в создании новых методов изучения как отдельных нервных клеток, так и взаимосвязанных групп, позволил ученым применить полученные результаты к исследованию целостных поведенческих актов и изменению поведения во время научения. Это вызвало интерес к беспозвоночным, например ракообразным, моллюскам, насекомым.

Их нервная система состоит из относительно небольшого количества нервных клеток (приблизительно 10-100 тыс. по сравнению с 1 трлн и более у высших животных). Такие особенности позволяют отследить на уровне отдельной клетки не только сенсорную информацию, поступающую в нервную систему, и моторную реакцию на выходе, но и общую последовательность событий, лежащую в основе поведенческой реакции.

Наибольший прогресс был достигнут при изучении привыкания (габитуации) и восстановления первоначальной реакции (дисгабитуации), проводившемся на брюшном ганглии морского зайца *Aplysia* (морского моллюска, достигающего размеров человеческой стопы).

Привыкание (уменьшение выраженности поведенческой реакции) происходит при неоднократном повторении первоначально нового стимула. Существуют два процесса, способные привести к восстановлению исходной реакции после формирования привыкания. Первый, спонтанное восстановление, происходит при сохранении стимула, вызвавшего привыкание. Во втором случае дисгабитуация возникает в результате изменения характера раздражителя.

Под действием слабого раздражителя *Aplysia* демонстрирует защитное рефлекторное поведение. Орган дыхания моллюска, жабра, частично покрыт выступом мантии, содержащим тонкую остаточную оболочку. Если осторожно дотронуться до него или до анального сифона, мясистого выроста мантии, сифон сокращается и жабра прячется в полость под мантией.

Теперь мы можем предложить упрощенную циклическую схему, иллюстрирующую точку приложения и механизм различных пластических изменений, которые сопровождают габитуацию и дисгабитуацию рефлекса втягивания жабер. Повторная стимуляция сенсорных рецепторов приводит к привыканию, при этом возникают пластические изменения в синапсах между сенсорным и двигательным нейронами. Стимуляция головы приводит к восстановлению защитного рефлекса (дисгабитуации) посредством гетеросинаптического облегчения в том же синапсе.

Представляется, что клеточный подход, направленный на выявление нейронных контуров, участвующих в поведенческих реакциях, можно применить и к более сложным процессам научения.

Проблема сознания



Фрэнсис Крик (лауреат
Нобелевской премии 1962 г.)
и Кристоф Кох

Опубликовано в сентябре 1992 г.

Некоторые психологи считают, что любая удовлетворительная теория сознания должна объяснять как можно больше его сторон. Возможно, разумнее начать с отдельного аспекта сознания. Мы выбрали зрительную систему млекопитающих.

Как обнаружить нейроны, импульсная активность которых отражает особенности восприятия? Уильям Ньюсом (William T. Newsome) и его коллеги из Стэнфордского университета провели серию блестящих экспериментов на корковых нейронах зоны *MT(V5)* у макака. Изучая эти нейроны, можно обнаружить, что они реагируют преимущественно на специфические зрительные стимулы, связанные с движением. Например, импульсная активность резко возрастает в ответ на движение полосы в определенном участке зрительного поля, но исключительно в тех случаях, когда она расположена под определенным углом, движется в определенном направлении, со скоростью, находящейся в конкретном диапазоне. Но такие эксперименты не могут бесспорно доказать, что импульсная активность нейронов представляет собой однозначный нейрофизиологический эквивалент восприятия. Такая корреляция может относиться либо к самому подмножеству активированных нейронов, либо к импульсной активности клеток других участков зрительной иерархии, которые находятся под сильным влиянием нейронов, активирующихся в зоне *MT*.

Ключевой вопрос заключается в том, как из зрительных сигналов мозг формирует целостное представление. Если основная роль в зрительном восприятии отводится вниманию, то при формировании представлений мозг воспринимает только один объект в единицу времени, быстро переходя от одного объекта к другому. Например, импульсная активность всех нейронов, отражающих различные аспекты воспринимаемого объекта, может резко возрасти за короткий период, возможно, в виде быстрых вспышек. Такая одновременная активность способна облегчать передачу в синапсах так, что именно данный конкретный паттерн импульсной активности может быть быстро восстановлен, – это вариант кратковременной памяти. ■



ОБ АВТОРАХ

Кристоф Кох (Christof Koch) – специалист в области когнитивной биологии и биологии поведения, профессор Калифорнийского технологического института и ведущий исследователь в Институте исследований мозга им. Аллена в Сиэтле. Также он сотрудничает с журналом *Mind* в роли консультанта.

Джулио Тонони (Giulio Tononi) – специалист в области медицины сна и наук о сознании, занимает должность профессора Висконсинского университета в Мадисоне.

ТЕСТ НА ПОНИМАНИЕ

Когда будет создан компьютер, обладающий сознанием, и как мы узнаем об этом? Все просто: мы зададим ему элементарную задачу, и он сможет ее решить

Кристоф Кох и Джулио Тонони

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Поведение компьютеров будет становиться все более разумным, но техника подобного рода все еще далека от истинного понимания окружающего ее мира.
- Ученые, занимающиеся компьютерами, и нейробиологи любят обсуждать связанный с этим вопрос как с технической, так и метафизической точки зрения: «Сможем ли мы сказать, когда машина станет разумной?»
- Простой тест, который можно провести в домашних условиях с помощью иллюстраций в нашем журнале и ножниц, поможет определить, появилась ли наконец такая машина.



ВСЕ ЛИ В ПОРЯДКЕ С ЭТОЙ КАРТИНКОЙ?

Для того чтобы решить, что данное изображение не соответствует реальности, от компьютера потребуется понимание множества закономерностей окружающего мира (если, конечно, он не будет запрограммирован на распознавание неестественности конкретно этой фотографии)



Современные компьютеры еще на один сантиметр приблизились к разумному поведению, которое до сих пор характерно только для человека, о чем свидетельствует способность IBM-совместимого компьютера по имени Уотсон обыгрывать лучших знатоков из телепередачи «Своя игра». Однако большинство из нас сомневаются в том, что компьютеры действительно «видят» и их визуальная картина в полной мере отражает форму и цвет объектов, попадающих в поле зрения камер, что они могут «слышать» вопросы с помощью микрофонов, что способны чувствовать хоть что-нибудь (т.е. осознавать увиденное) так, как это делают люди, несмотря на свою способность обрабатывать данные с нечеловеческой скоростью.

Как мы поймем, что машина достигла кажущейся невероятной степени осознанности восприятия? Известно, что только разумный компьютер сможет продемонстрировать субъективное понимание «правильности» или «неправильности» сцены, изображенной на обычной фотографии. Способность создавать из набора данных цельную картину окружающей реальности, характерная для разумного существа (или, скажем, знать, что слон не должен находиться на вершине Эйфелевой башни), – важнейшее свойство истинного разума. В отличие от него даже целая армия суперкомпьютеров не способна понять, насколько осмысленно предъявленное изображение.

Выявление внешних признаков разумности машины позволит людям не только осознать, как работает их собственный мозг, но и подготовиться к тому дню, когда, как пророчат фантасты, человечеству придется учиться сосуществовать с другими формами разумных существ, которые оно само и создаст. Более того, подобное знание может приблизить нас к ответу на вопрос, интересовавший философов во все времена: что есть разум?



ЧТО НЕ ТАК?

Тест на разумность предполагает вопрос: «Какая из двух картинок неверна?», обращенный к потенциально «мыслящему» компьютеру. Задача поставит в тупик любую современную технику

Человек или робот?

Философы давно обсуждают, сможет ли созданный человеком интеллект, будь то голем или компьютер в железном корпусе, что-нибудь чувствовать или переживать? В 1950 г.

Алан Тьюринг (Alan Turing), британский математик, участвовавший в расшифровке кодов шифровальной машины *Enigma*, использовавшейся нацистскими субмаринами во время Второй мировой войны,

опубликовал в журнале *Mind* статью, которая стала первой работой в сфере исследований искусственного интеллекта. В ней Тьюринг предложил заменить чрезвычайно неопределенный вопрос «Может ли компьютер думать?» на гораздо более практичный: «Можем ли мы создать компьютер, который, общаясь с людьми с помощью телетайпа, будет неотличим от живого собеседника?»

В используемом сегодня варианте теста Тьюринга человек-«судья» общается с человеком или компьютерной программой посредством другого компьютера на родном языке. Разговор «судьи» и его (ее) собеседника может касаться любой темы. Если после определенного времени общения «судья» не сможет с уверенностью утверждать, кто его собеседник, то по меньшей мере можно сказать, что этот собеседник разумен как человек и, следовательно, выдержал испытание – тест Тьюринга. С тех пор прошло много лет, и современные роботы-собеседники – компьютерные программы, способные имитировать нормальный разговор, – иногда могут одурачить «судью», но лишь на короткое время.

В этой статье мы подошли к вопросу компьютерного разума не как программисты, а как нейробиологи, интересующиеся нейронными механизмами, обеспечивающими появление субъективных переживаний. Мы изучали мозг добровольцев или пациентов с неврологическими нарушениями с помощью томографа и записывали активность их мозга электроэнцефалографом. Также мы осуществили сходные исследования мозга грызунов и других животных. Особое внимание мы уделяли так называемым нейрональным коррелятам сознания: простейшим механизмам в мозге, которые вместе обеспечивают любое специфическое осознанное чувство, например разглядывание неестественно яркого оранжевого заката. К сожалению, до недавнего времени в этой области науки не существовало общей теории, кото-

рая позволяла бы нам теоретически предположить, могут ли пациент с повреждениями мозга, эмбрион, мышь или «кремниевый голем» испытывать осознанные чувства.

То, что мы называем общей информационной теорией сознания (ОИТС), дает нам возможность решить данную проблему только одним способом. Он касается критического определителя сознания. Многие люди обладают интуитивным пониманием, что субъективное, феноменальное состояние, которое обеспечивает ежедневные переживания, – то, как каждый из нас глубоко индивидуально ощущает запахи, зрительные картины, мысли или воспоминания, – должно быть когда-нибудь соотнесено с тем, как мозг объединяет входящие сигналы сенсорных систем с информацией из нашей памяти в единую картину окружающего мира. Но как сделать такую расплывчатую формулировку более определенной?

ОИТС отвечает на данный вопрос, выдвигая две аксиомы. Во-первых, осознанность – это высокая информативность: каждое частное осознанное состояние, когда оно наступает, исключает огромное число других возможных состояний, от которых оно отличается каким-то индивидуальным образом. Представьте себе кадры из всех фильмов, которые вы когда-либо видели. Каждый кадр, каждая точка зрения – это специфическая осознанная картинка: когда вы осмысливаете ее, ваш мозг отбрасывает триллионы других возможных изображений. Даже после пробуждения в темной комнате, кажущейся самым простым визуальным ощущением, восприятие черноты сопровождается осознанием, что вы не видите ни хорошо освещенной комнаты, ни запутанного полога из лиан в джунглях, ни любой другой из бесчисленных картин, способных существовать в мозге.

Во-вторых, осознанная информация едина. Когда вы начинаете понимать, что это лицо друга, вы не можете ошибиться из-за

того, что он плакал или надел темные очки. Не важно, как сильно вы будете стараться, вы не сможете отделить правую половину своего поля зрения от левой или переключиться на черно-белое зрение. Какой бы ни была картина, осознание ее остается цельным и полным; оно не может быть разделено на независимые и несвязанные компоненты, которые могли бы осмысливаться сами по себе.

Комплексная природа сознания обусловлена множественностью взаимодействий между соответствующими участками мозга. Если эти участки будут разъединены, как это происходит в глубоком сне или при анестезии, то уровень осознанности снижается или полностью исчезает.

Для того чтобы обладать сознанием, нужно быть самостоятельным единым организмом с широким ассортиментом различных состояний – такое определение сознания дает нам теория информации. Способность системы к восприятию интегрированной информации, а значит и к осознанности, можно определить, выяснив, как много система содержит информации сверх той, которая присутствует в виде отдельных частей. Это количество, называемое «фи» (Ф), можно, в принципе, вычислить для любой системы, будь то мозг, робот или настраиваемый вручную термостат. Можно считать Ф мерой неупрощаемости системы до набора отдельных ее фрагментов, которая выражается в битах. При высоком уровне Ф, а значит и степени осознанности, система должна состоять из отдельных элементов, которые специализированы и интегрированы друг с другом так, что сообща представляют собой нечто гораздо большее, чем просто набор составных частей.

Если фрагменты системы по большей части независимы, как сенсоры цифровой камеры или биты компьютерной памяти, значение Ф будет невысоким. Таким же оно будет для элементов, которые дублируют друг друга, выполняя одни и те

же функции при отсутствии специализации, и в результате этого создают некую избыточность; также Φ остается на низком уровне, если единицы системы связаны случайным образом. Но для определенных зон мозга, например коры больших полушарий, в которой нейроны тесно связаны друг с другом с помощью специфических связей, уровень Φ будет очень высоким. Подобные измерения степени интеграции системы могут также применяться и к кремниевым микросхемам, забранным в металлический кожух. При наличии комплексных связей между транзисторами и элементами памяти, компьютеры, как и мозг, будут характеризоваться высоким значением интегрированности информации.

Поскольку задача по измерению Φ в микрочипах компьютера весьма сложна, то возникает вопрос: существует ли иной способ определить, будет ли машина разумна, и какие тесты можно использовать для этого на практике? Одним из способов установить степень интегрированности информации в системе может стать предъявление задач, которые легко решит даже шестилетний ребенок: «Что не так на этой картинке?» Ответ на столь простой вопрос требует значительно большего объема контекстуальных знаний, чем те, что могут быть получены при следовании алгоритмам, от которых зависят современные компьютеры при идентификации лиц или обнаружении мошенничества с кредитной картой.

Изображения объектов или естественных сцен состоят из массива запутанных соотношений между пикселями и составленными из них объектами, поэтому и возникла поговорка «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». Эволюция нашей зрительной системы, наше умственное развитие в течение детства и весь чувственный жизненный опыт в сумме позволяют нам понимать, все ли компоненты изображения в точности соответствуют друг другу. Текстура,

глубина, цвет, пространственные взаимоотношения между элементами – насколько они осмысленны?

Для анализа изображения и определения, адекватна ли информация на картинке, компьютеру требуется гораздо более серьезная обработка данных, чем при ответах на языковые вопросы, взятые из компьютерной базы данных. Машины могут обыгрывать людей в сложных играх, но они все еще не способны произвольно отвечать на вопросы о том, что происходит на фотографии. Это связано с невысокой степенью интегрированности информации, которой они обладают: элементы системы остаются по большей части не связанными друг с другом.

Прозрачные коровы

Приведем лишь один пример. Если предъявить компьютеру фотографию рабочего стола, то он не поймет, что среди обычной свалки бумаг и карандашей соседствующие друг с другом компьютер *iMac* и планшетник *iPad* выглядят вполне гармонично. Более того, машина не знает, что если *iMac* и *iPad* вполне сочетаются, то цветочный горшок вместо клавиатуры смотрится нелепо, или что *iPad* не может висеть в воздухе над столом, или что правая половина фотографии должна соответствовать ее же левой части, тогда как составные изображения, сделанные из нескольких фото, будут выглядеть неправильно. Для компьютера сумма всех пикселей представляет собой лишь огромное неупорядоченное полотно, составленное из трех цифр (соответствующих трем цветам), без конкретного значения. Для человека же изображение осмысленно потому, что оно насыщено связями между отдельными частями на многих уровнях – от отдельных пикселей до целых объектов и общей картины. И эти связи не только определяют, какие части изображения хорошо сочетаются, но и то, какие не соответствуют друг другу. В свете нашей теории такая интегрированная сеть связанных знаний

придает каждому изображению индивидуальность, позволяющую отличить его от мириад других, и обеспечивает способность человека осознавать окружающий мир.

Та же интеграция дает возможность шестилетнему ребенку заметить, что многие картинки, отдельные компоненты которых не связаны между собой, выглядят нелепо: конькобежец на ковре в жилой комнате, или корова, сквозь которую просвечивает задний план, или же кошка, преследующая собаку. В этом и заключается методика, позволяющая определить, понимает ли компьютер увиденное. Подобные очевидные несоответствия нашим представлениям свидетельствуют о глобальном понимании, которым мы обладаем, т.е. о постижении того, как определенные события и объекты соотносятся друг с другом, а громадное большинство других не связаны между собой.

Проверка способности компьютера сознавать смысл изображения не требует соблюдения протокола теста Тьюринга по задаванию вопросов машине. Достаточно просто предъявить ей несколько изображений, случайным образом взятых из Интернета. Прочертим черную вертикальную линию, проходящую через центр каждой из картинок, затем перемещаем их правые и левые стороны. Части составных картинок не будут соответствовать друг другу за исключением тех случаев, когда половинки взяты от одного и того же изображения. Компьютеру будет дано задание выбрать из нескольких одно изображение, которое будет верным. Черная линия в центре будет препятствовать использованию простой стратегии анализа изображения, которую компьютеры применяют сейчас, – скажем, прослеживания соответствия линий, цветов и текстуры внутри отдельных, частных картинок. Тест с расщепленными изображениями потребует от машины понимания того, что она видит, и способности рассуждать, соответствуют ли отдельные части картинок друг другу.

В другом тесте объект вставляется внутрь готового изображения так, что все предметы кроме одного нормально сочетаются друг с другом. И компьютер должен определить, какой именно объект выпадает из общей картины. Молоток на верстаке выглядит уместно, но он не должен висеть в воздухе. А клавиатура, расположенная напротив компьютера, будет смотреться более естественно, чем горшок с цветком.

Разнообразные компьютерные стратегии, основанные на оперировании наиболее примитивными характеристиками изображения (такими как цвет, контуры или текстура), могут обеспечить прохождение одного из подобных тестов, но использование нескольких выявит несовершенство современных машин. Разработка нескольких тестов, которые будут применяться на практике, потребует определенных усилий.

Тем не менее такие задания позволяют выявить огромное количество взаимосвязей, которые понимает и осознает человек, и подчеркнуть резкую ограниченность специфических и высокоспециализированных знаний, доступных современным зрительным системам компьютеров. Да, современные машины способны опознать лицо возможного террориста среди миллиона фотографий из их базы данных, но они не могут определить его возраст, пол и этническую принадлежность, а также сказать, смотрит ли человек на фотографии в камеру или в сторону, хмурится он или улыбается. Компьютеры не способны понять, что если террорист пожимает руку Джорджу Вашингтону, то фотография была отредактирована в фотопроцессоре. А любой разумный человек сможет понять все это (и многое другое) после первого же взгляда на картинку.

Исходя из этого, чего мы можем ожидать в ближайшем будущем? Компьютеры современного типа будут все лучше решать отдельные задания, которые можно выделить из контекста и описать независи-

мо от прочих элементов системы. С помощью скоростных алгоритмов они смогут осуществлять мгновенный поиск в огромной базе данных и побеждать людей в телешоу «Своя игра». Сложнейшие алгоритмы самообучения, основанные на предъявлении машинам невероятного числа сходных примеров, подобранных людьми, позволят компьютерам усовершенствовать распознавание лиц или выработать способность замечать пешеходов быстрее и лучше, чем это сделал бы живой человек. Мы легко представляем себе ситуацию, когда компьютерам наконец станут доступны узкоспециализированные, но довольно сложные задания. Появятся более совершенные зрительные системы, и менее чем за десятилетие в нашу повседневную жизнь войдут надежные и по большей части автономные системы управления.

Но мы предполагаем, что такие компьютерные зрительные системы не ответят, например, на вопрос, похожи ли очертания Чикаго со стороны ведущей к нему автомагистрали, на большом расстоянии и на фоне неба, на объятую пламенем рощу деревьев, виднеющуюся сквозь клубы дыма. Компьютер также не сможет понять, что гигантский банан возле автозаправки будет выглядеть нелепо (разве что он встретится возле Лос-Анджелеса). Ответы на такие вопросы (и миллионы других), или объяснение, что не так с бананом, потребуют написания бесчисленных программных модулей, каждый из которых будет посвящен одной конкретной проблеме. А поскольку все эти вопросы предугадать невозможно, то создание подобных программ будет бессмысленным. И если мы правы, то усовершенствованные зрительные системы компьютеров будут основаны на группе специализированных параллельных модулей и будут действовать в основном автоматически, упрощая множество ежедневных задач, но они не смогут осознанно увидеть всю картину в целом.

Тем не менее мы ожидаем появления компьютеров другого типа, в которых неисчислимо множество частных знаний о соотношениях между элементами нашего мира будет объединено в единую высокоинтегрированную систему. Такая машина на вопрос: «Что не так с картинкой?» ответит без раздумий, потому что все «неправильное» не будет соответствовать неким истинным ограничениям, возникшим в связи с определенным способом объединения информации внутри данной системы.

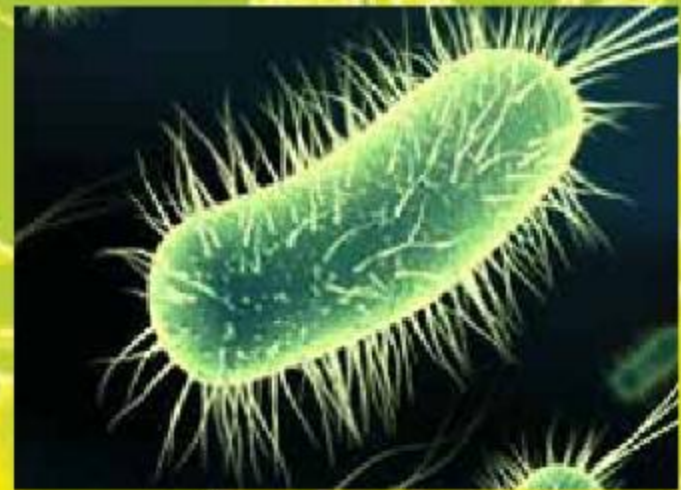
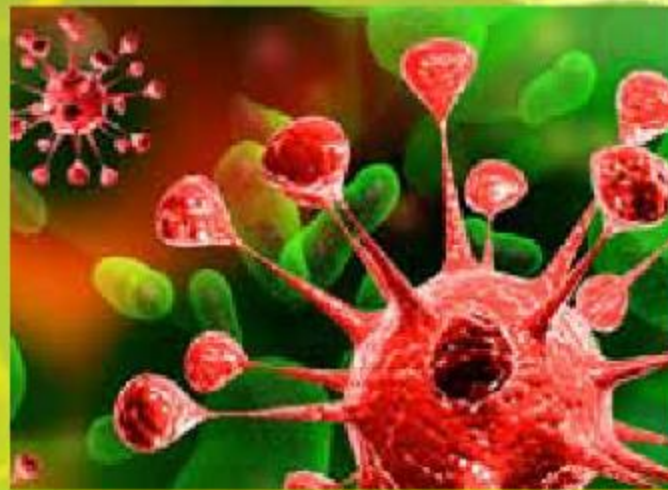
Такие машины будут хорошо решать комплексные задачи, трудноразделимые на отдельные компоненты. На основании способности к объединению информации они будут воспринимать зрительную картину осознанно. И мы ожидаем, что для достижения высоких уровней интеграции машины вполне могут быть основаны на структурных принципах строения мозга млекопитающих. Компьютеры будут легко проходить описанные нами тесты, и когда они это сделают, они разделят с нами дар сознания – наиболее загадочное свойство материи во Вселенной. ■

Перевод: Т.А. Митина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Can Machines Be Conscious? Christof Koch and Giulio Tononi in *IEEE Spectrum*, Vol. 45, No. 6, pages 54-59; June 2008.

■ Consciousness as Integrated Information: A Provisional Manifesto. Giulio Tononi in *Biological Bulletin*, Vol. 215, No. 3, pages 216-242; December 2008.





Алексей Торгашев

Творческая
БИОЛОГИЯ

Екатерина Игоревна Шишацкая, сотрудник красноярского Института биофизики СО РАН, получила премию Президента РФ в области науки и инноваций для молодых ученых

МОЛОДАЯ НАУКА

Официально тема работы звучит так: «Разработка высокотехнологичных биомедицинских изделий из разрушаемых полимеров и создание научной основы для их практического применения». Речь идет о том, чтобы создать материал для хирургии и трансплантаций, который сам разрушится в организме без вреда для здоровья. Например, когда имплантируется аналог кости из такого полимера, место вмешательства постепенно зарастает собственной тканью, а материал рассасывается. Это совсем новое направление в медицине, но Екатерина Шишацкая уже планирует



«Люди занимались микробиологией давно, начиная с Пастера. Потом появилась тема промышленного культивирования. Взались за синтез белка в одноклеточных организмах – в теории они способны накормить человечество. Те микробы, о которых мы говорим, могут работать по пути синтеза полимеров»

в будущем замещать биополимерами пораженные или недостающие ткани. Она нацелена только на результат – наверное, поэтому ей удалось столь много достичь.

Глубокоуважаемый микроб

– Вы получили премию за разработку полимера, который можно применять в медицине. И наращивают его в бактериях. Это какой-то особый вид ми-

кроорганизмов или генно-инженерная модификация?

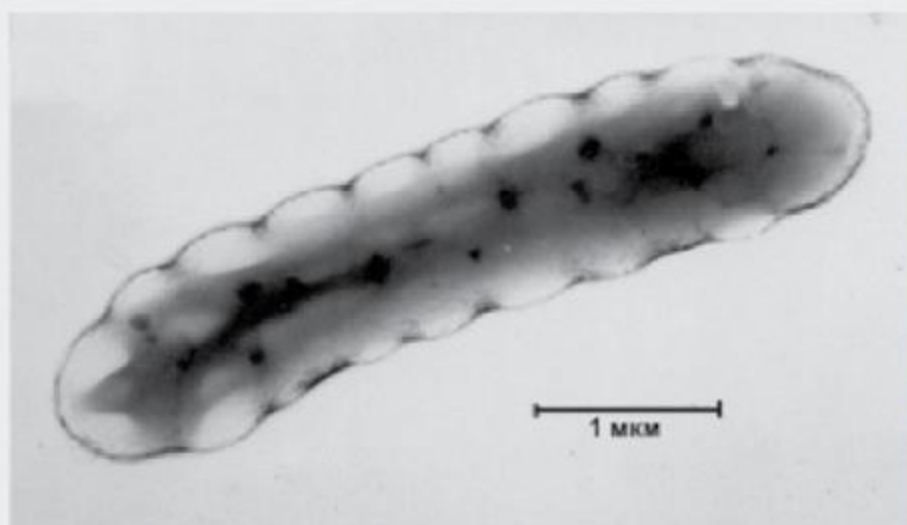
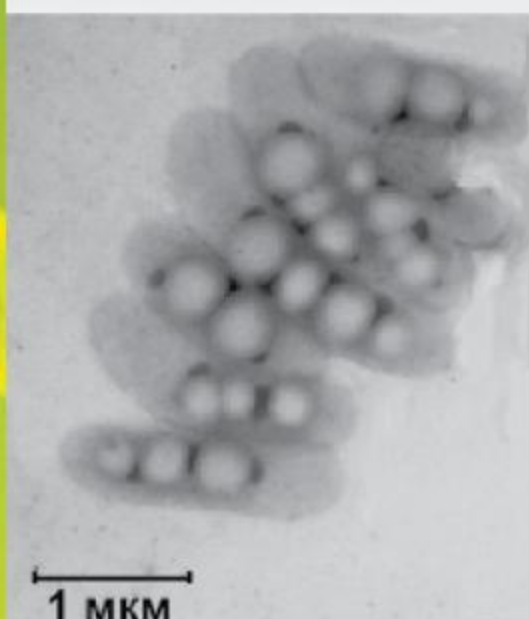
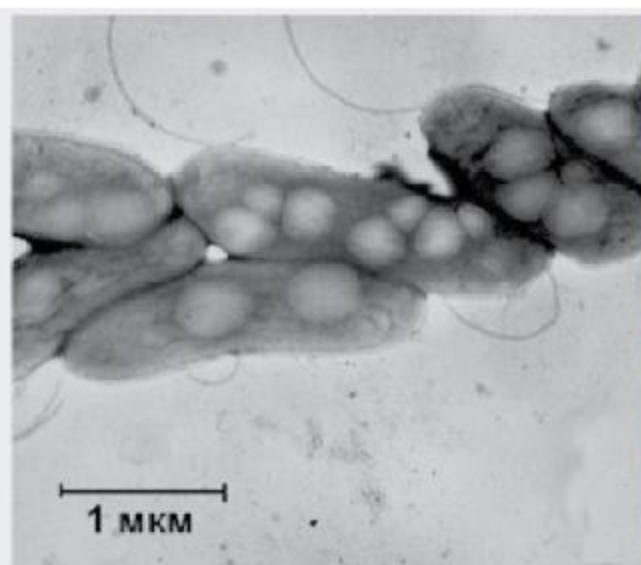
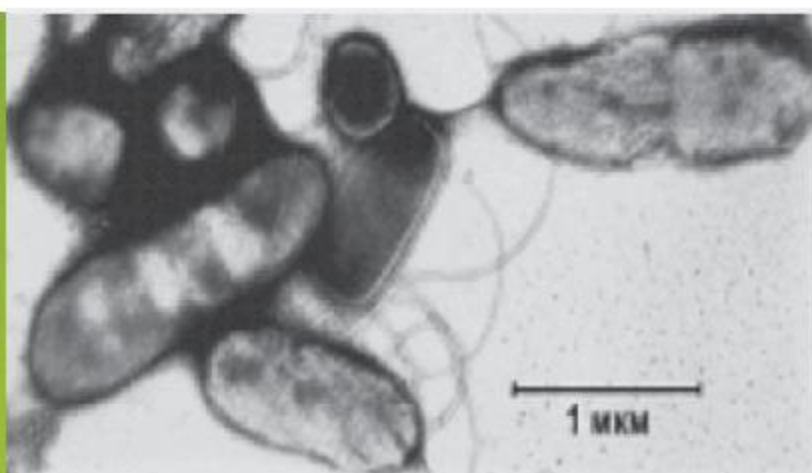
– Нет. У нас дикарь, а не мутант и не генно-инженерный продукт. Это не тот случай, когда вы вводите в микроба плазмиду, и потом он выдает целевой продукт в огромных количествах.

– Со мной вам будет объясняться просто, я по образованию молекулярный биолог. Я помню, что плазида – это молекулярная конструкция с генами, и представляю, как ее вводят в бактерии...

– Молекулярный биолог? Если захочется поработать, приезжайте! Молбиология – это то, что у нас хромает на обе ноги. Есть комплект оборудования, но нет хорошего специалиста.

– Давайте теперь поговорим о бактериях. Если у вас дикий штамм, то он производит такой полимер для каких-то своих целей, правильно?

– Если образно, это такой микробный «целлюлит», т.е. запасные энергетические вещества. Когда микробу плохо, он начинает их расходовать. В присутствии биологических агентов вещество начинает разлагаться, в стерильной воде – нет. Естественно, микроб не делает его в таких огромных количествах в естественной среде, это мы его заставляем – все регулируется условиями, субстратом.



Эти клетки микроорганизмов-производителей уже содержат гранулы чудесных биополимеров. Бактерии на откорме накапливают их «про запас», так же как организм человека вырабатывает жиры



– Кто придумал его использовать в медицине?

– Люди занимались микробиологией с «корыстными целями» давно. Потом появилась тема промышленного культивирования. Далее взялись за синтез белка в одноклеточных организмах, которые в теории способны накормить человечество. Те микробы, о которых мы говорим, могут работать по пути синтеза белка и синтеза полигидроксиалканоатов, ПГА, это как раз наш полимер. Сначала, когда люди пытались нарабатывать белок, они боролись с синтезом ПГА, но потом поняли, что эти вещества интересны сами по себе. В 1990-е гг. несколько команд в мире стали их исследовать, в том числе и наша группа тоже. Т.Г. Волова, микробиолог и биотехнолог, руководитель нашего подразделения, вывезла штамм от академика А.А. Заварзина.

– А как называется бактерия?

– Одна из самых прижившихся – *Ralstonia*. Она, конечно, изменилась, и сегодня наша лаборатория стала собственником высокопродуктивных штаммов. Мы регулируем условия биосинтеза и таким образом задаем свойства конечного продукта – полимера.

– Такая практика синтеза полимеров в мире принята? Производить не химически, а биологически?

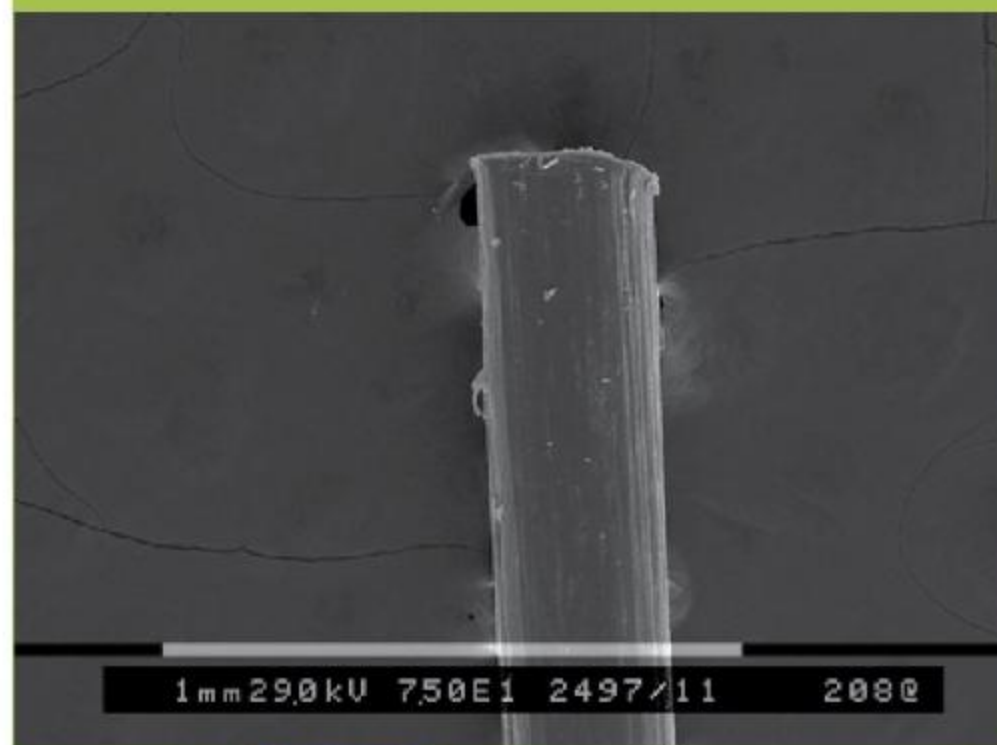
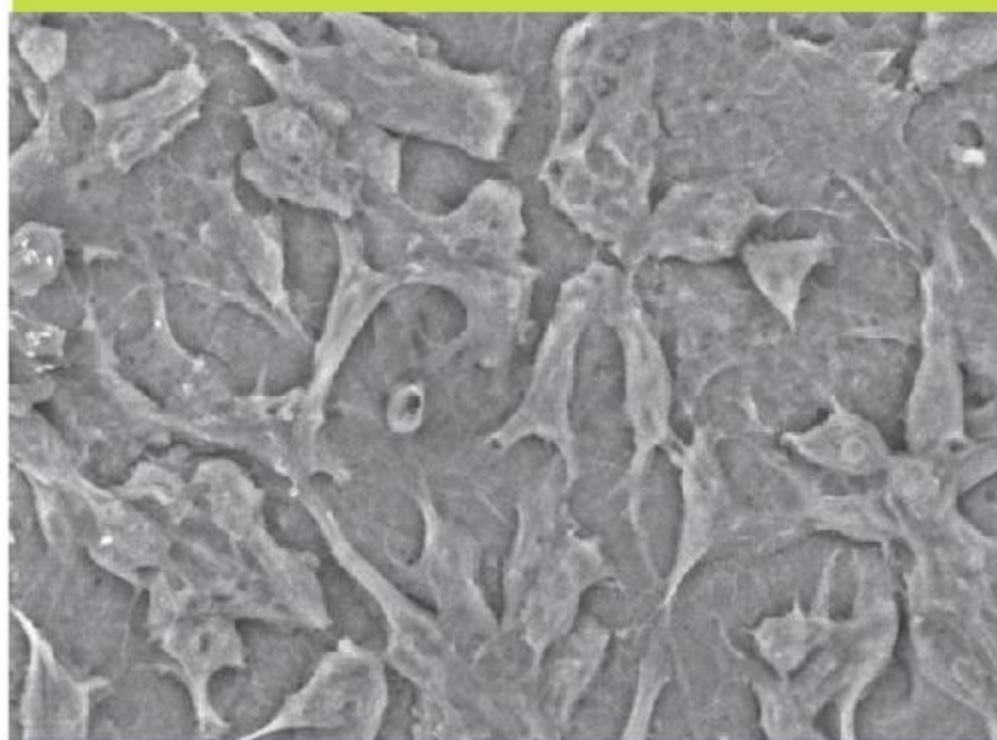
– Этот класс биополимеров так и делают. Действительно, микробный биосинтез отличается от химического. Пока он сложнее и дороже. Первые деградируемые полимерные материалы в медицине – полилактидные, сегодня они активно используются, их синтезируют в два этапа – первый микробиологический, затем полимеризация. Однако при их разложении образуется молочная кислота – это, в отличие от масляной кислоты, нежелательный компонент в организме человека. Наша линейка – именно полигидроксимасляная кислота, естественный метаболит. Полимеры различные, но они разрушаются до углекислого газа и воды.

– Когда вы их выделяете из бактерий, как это выглядит?

– Получаем мы полимер следующим образом: сначала вытягиваем продукт из клетки, получается что-то вроде киселя, осаждаем, в результате получается нечто наподобие прессованной бумаги. Потом ее измельчаем и получаем порошок. Дальше есть метод отливки из раствора, отливки из расплава, микронизации и др. Наш материал оказался благодатным для обработки разными способами. Начали мы с самых простых методов – с пленок, которые можно использовать в общей хирургии, потом наносили раствор на существующие медицинские из-

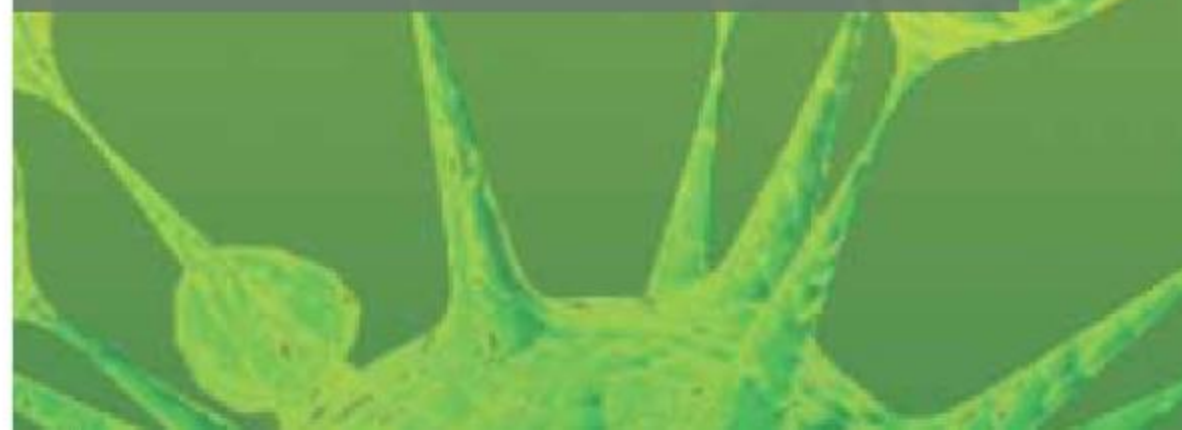


«Основная вершина, к которой я стремлюсь, – тканевая инженерия: когда человек что-то утратил, восполнить это с помощью биополимеров. Пока в нашей стране тканевой инженерии не существует»



Полимерный пленочный матрикс с производящими его клетками напоминает покрытое изморозью зимнее оконное стекло (вверху)

Полимерные моножильные хирургические шовные нити начинают разлагаться лишь в контакте с органикой (внизу)





Этот объемный пористый матрикс может стать прекрасным «строительным материалом» для замещения мягких тканей. Рассасываться он будет одновременно с естественным процессом нормального тканеобразования (вверху)

Все эти изделия произведены из нового разрушаемого биополимера (в середине)

Производителя полимера, бактерию *Ralstonia*, простым глазом не разглядишь, только сильно вооруженным (внизу)



«Не надо приравнивать науку к остальным видам деятельности. Наука – это всегда "сверх", это люди, которым всегда чего-то не хватает, которые вечно куда-то рвутся. Это трудно – быть в науке»

делия, например на сетчатые эндопротезы. Потом – шовный материал, хирургическая нить. Швы из таких нитей не надо снимать, они сами рассасываются, причем долго, что важно. На животных нить остается больше года, а прочностные свойства сохраняет больше трех месяцев.

– А что-нибудь более сложное можно изготовить? Часть кости, протез для скрепления костей?

– Да, можно. Мы сейчас работаем над шурупчиками, булавочками как раз для этого.

Посредник

– Заинтересована ли в ваших разработках промышленность, есть ли у вас заказы и попытки купить?

– Мы не спешим продавать разработку, а, как правило, всех интересует тотальная продажа. Сегодня мы сами строим мощности, закупаем оборудование, учим специалистов в Швейцарии и США. Три изделия из таких полимеров уже прошли сертификацию FDA, в Россию пока их не поставляют.

– Хорошо, постройте вы малое предприятие, а как будете выходить на рынок?

– В нашей стране это должна быть государственная политика, и она существует. В нормативных актах есть такое понятие, как высокотехнологичное лечение, и эту тему надо активно развивать.

– А откуда врачи узнают, что такая разработка уже есть? Вывести продукт на рынок – это ведь целая технология...

– Осенью мы ездили по программе Американского фонда гражданских исследований в США смотреть, как внедряются инновации в медицинских продуктах. Там последовательность такая: разработка, затем небольшая компания, доведение продукта, продажа промежуточной компании, которая делает раскрутку и которую потом покупает какой-нибудь концерн, *Johnson & Johnson*, например. Со мной очень дружелюбно общались в одной крошечной компании – всего два человека, которые и доводят медицинский продукт. Они мне сказали: «На вашу разработку у нас уйдет год. Найдите инвестора, здесь же Кремниевая долина!»

– И что вы ответили?

– Если честно, я не умею искать инвестора. Думаю, что делать нужно на нашей клинической базе,

как в Томске, например, где изготавливают аналоги суставов и сами их ставят. Так же кемеровчане делают и ставят сердечные клапаны. Это наш путь.

– Американцам, значит, не стали отдавать работу. Как вы думаете, кстати, они вас специально возили, чтобы получить результаты?

– Что им от нас может быть нужно? Зачем столь малой компании мы, если они на американцах столько же заработают? Помните, еще Сорос спасал от голода наших ученых в 1990-х гг.? Наша семья как раз из таких. Вот зачем ему? Сейчас до сих пор дают молодежные гранты. Какой им смысл платить моим студентам, чтобы они писали курсовые?

– Вот вы хотите все начинать на своей базе. А вы уверены, что в Красноярске смогут на хорошем уровне пользоваться вашими разработками? У меня там есть друзья, и все, что я о вашей медицине от них слышал, – сплошной негатив. Особенно в диагностике.

– Представьте: вы владеете современными знаниями и хотите послать пациента в лабораторию. А некуда послать, поскольку нет оборудования, не говоря уже о расходных материалах. Если вы сравните, сколько денег тратится на московскую медицину и на всю остальную страну, то в Москве цифры намного больше. Я все это знаю, сама медик. Хотела бы сказать одну важную вещь, о которой вы меня не спрашивали. Основная вершина, к которой я стремлюсь, – тканевая инженерия: когда человек что-то утратил, он сможет восполнить это с помощью биополимеров. К сожалению, пока в нашей стране тканевой инженерии не существует.

– В лаборатории института вы занимаетесь именно применениями в медицине?

– Если мы говорим о разработке медицинского изделия, то да. А сам полимер – это то, что было сделано до меня, клиника – после меня, а я посередине.

Выбор

– Как вы попали в институт? Вы ведь из врачей пришли в науку, насколько я знаю.

– Мне наука в отрыве от медицины не интересна совсем. У меня папа врач, мама – биолог, занималась полимерами. Поэтому выбор был predetermined: биология или медицина. Я хотела быть медиком и закончила медицинский вуз. В Красноярске было великолепное медицинское образование – учили еще те профессора, которых в войну эвакуировали из Ленинграда. В 1999 г. я начала работать терапевтом в обычной городской поликлинике, моим участком был Академгородок. Ставка – 650 рублей. У нас и сегодня ставка врача высшей категории – 8 тыс. руб. У меня не было проблем зарабатывать на еду, семья помогала. Но, получается, чтобы я могла качественно обслуживать население,



Екатерина Шишацкая – гость программы «Очевидное-невероятное»

моя семья должна была вкладывать средства. Когда я это осознала, то стала меньше работать в медицине и больше в науке, потому что там есть гранты.

– Была какая-то альтернатива?

– Была. Идти в аспирантуру и изучать медицину в общепринятом смысле: садишься, читаешь около 500 историй болезней, а потом пишешь диссертацию. С моим темпераментом это невозможно, и не знаю, кому это может быть интересно: анализировать то, что сделал кто-то другой. Поэтому я стала заниматься полимерами. В аспирантуру поступила в 2000 г., а защитилась весной 2003 г. Кандидатская у меня медицинская, а докторская – биологическая.

– Вы любите руками работать?

– Да. Это намного легче, чем писать. Я начинала клеточное направление в нашей лаборатории, делала сложные трехмерные изделия. Теперь я научила этому ассистентку, поскольку это должен вести один человек. А сейчас в основном работаю на животных: имплантирую, эксплантирую и т.д.

– Вы доктор медицинских наук, лауреат нескольких премий, автор разных методик, у вас кафе-

МОЛОДАЯ НАУКА



«Живое общение с президентом незабываемо»

дра в университете, группа в институте, вы постоянно ездите в Москву. Еще у вас двое детей, и вы очень молоды. Как вы так много успеваете?

– В том-то и дело, что не успеваю. Если пять лет назад я говорила, что 60% не получается, то теперь – все 80%. Я не какой-то уникум. Недавно к нам пришел молодой медик – 29 лет, он уже доктор наук по специальности «Хирургия». Что такое докторская по хирургии? За плечами десятки прооперированных пациентов, несколько месяцев кропотливой работы с отдаленными результатами. Так что во мне ничего особенного нет. У меня хороший ресурс: семья, мама; а дети уже большие – одному 14, второму 6.

– Но вы как-то особенно время ужимаете в течение дня?

– Самое главное – вовремя лечь спать. С утра одного – в садик, второго – в школу. Дальше – на работу в лабораторию в Институт биофизики. Потом еду в университет,



«В президенте нет того, что нас мучило в советские времена, – глыбообразной значительности. Это абсолютно адекватный человек, никакого пафоса»

где заведу кафедрой медицинской биологии, много времени съедает менеджерская и просто формальная работа. Вечером – ученый совет. Сейчас приходится часто приезжать в Москву, поэтому на выходные попадает имплантационный день: прилетаю, имплантирую, улетаю обратно.

– Расскажите еще о премии L'Oreal, которую вам вручили в 2008 г.

– Премия называется «Для женщин в науке». Предназначена молодым специалистам, что, я считаю, несколько неправильно – ведь в науке есть не только молодые женщины. Это совместная премия ЮНЕСКО и L'Oreal, ежегодно вручается десяти финалисткам. (Подробнее о премии см.: Для женщин в науке // ВМН, № 12, 2008).

– Вы человек успешный. И от L'Oreal премия, и от президента. Расскажите, как все было.

– Вопрос обсуждался на ученом совете института. В 2009 г. совет молодых ученых настоял на том, чтобы я отправила свои публикации в Москву. Мне позвонили и сказали: «Вы прошли в 40». Потом опять: «Финальное голосование, сегодня будут обсуждать вашу работу, будьте готовы, приедут журналисты». Потом: «Вы победили, давайте интервью». Вручали премию в Екатерининском зале Кремля.

– Какие впечатления от президента?

– Меня обрадовало, что в президенте нет того, что нас мучило в советские времена, – глыбообразной значительности. На встрече с молодыми учеными он вы-

Ralstonia – один из видов протобактерий. Название свое получили по имени американского бактериолога Е. Ралстона (E. Ralston). Для человека бактерия совершенно безопасна, более того, ученые видят ее нашей большой помощницей. Еще в 1976 г. мощные колонии представителей вида *Ralstonia metallidurans*, геном которого насчитывает приблизительно 3 тыс. генов, нашли в отстойниках Бельгии. Оказалось, что эти бактерии прекрасно себя чувствуют даже в присутствии таких ядовитых металлов, как цинк, кадмий, кобальт, свинец, медь, ртуть, никель и хром. Придав эти их свойства бактериям, питающимся нефтью, мазутом и химическими отходами, можно получить микроорганизмы, которые будут успешно очищать почву от ядов. А австралийский ученый Фрэнк Рейт (Frank Reith) предлагает использовать *Ralstonia* для обогащения золотой руды. Ему удалось доказать, что эти бактерии восстанавливают высокотоксичные соли золота до чистого металла. В своей статье, опубликованной в журнале *Science*, он вообще утверждает, что мелкие крупинки самородного золота – всего лишь продукты метаболизма бактерий (если угодно, золотые экскременты).

ОБ АВТОРЕ



Екатерина Игоревна Шишацкая – биофизик, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой медицинской биологии Института фундаментальной биологии и биотехнологии Сибирского федерального университета. Родилась 18 октября 1974 г. в Красноярске в семье ученых: отец – кардиолог, мать – биолог. Лауреат Национальной премии России «Будущее шовных материалов» (2008), премии выдающихся ученых Сибирского отделения РАН (2008), премии имени академика Лаврентьева (2008), Государственной премии Красноярского края в области образования и науки (2009), стипендиат международного конкурса L’Oreal-ЮНЕСКО «Для женщин в науке» (2009). Лауреат премии Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых (2009).

Премия Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых была учреждена 30 июля 2008 г. в соответствии с Указом Президента № 1144. По положению о премии она вручается «за результаты научных исследований, внесших значительный вклад в развитие естественных, технических и гуманитарных наук; за разработку образцов новой техники и прогрессивных технологий, обеспечивающих инновационное развитие экономики и социальной сферы, а также укрепление обороноспособности страны». Возраст соискателя не может превышать 35 лет. Премия состоит из денежного вознаграждения, почетного знака лауреата и диплома. В этом году размер вознаграждения на одного лауреата составил 2,5 млн руб.



сказал свое мнение о судьбах науки в нашей стране, спросил, куда потратим премию. Я сказала, что еще не придумала.

– У вас в лаборатории вообще хорошо с деньгами?

– Сейчас да. У нас на три года два мегагранта Минобрнауки – 120 и 150 млн рублей. Тратятся так: не более 60% – на заработную плату, а остальное – на материалы, оборудование.

– Это западный уровень...

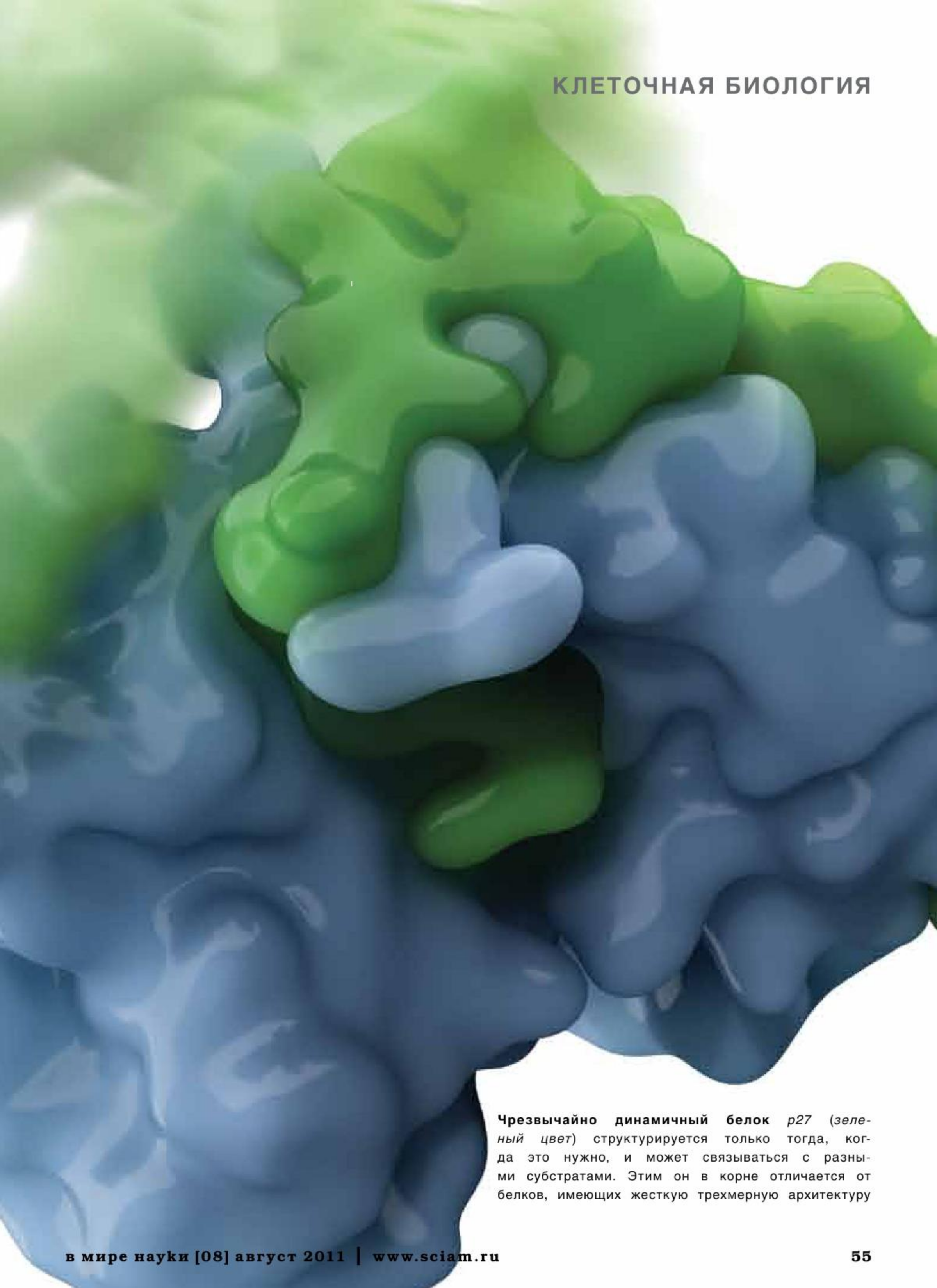
– Да. Но только в России гранты получили всего 40 лабораторий. Недавно была встреча с ректором МГУ В.А. Садовничим. Он отметил, что не надо приравнивать науку к остальным видам деятельности. Наука – это всегда «сверх», это люди, которым всегда чего-то не хватает, которые вечно куда-то рвутся. Это трудно – быть в науке. И не зарабатывание материальных благ стало целью людей в науке. Безусловно, они должны на что-то существовать. Но во всем мире ученые – не самые богатые. Это просто люди с достойным уровнем.

Вместе со мной премию получал Алексей Бобровский. Он считает, что нужно перевести исследования на английский язык, сделать сквозное экспертирование российских работ зарубежными экспертами, раскрыть нашу науку и приравнять ее к мировой. Уровень оплаты тоже: сколько получает ученый во всем мире, столько должен зарабатывать и здесь. Я думаю, это правильно. ■

КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ХАОС В ЦАРСТВЕ БЕЛКА

Кит Данкер и Ричард Кривацки

Для выполнения своей миссии белки должны иметь четкую пространственную организацию – по крайней мере, так считалось до недавнего времени. Однако реальная картина оказывается гораздо сложнее



Чрезвычайно динамичный белок p27 (зеленый цвет) структурируется только тогда, когда это нужно, и может связываться с разными субстратами. Этим он в корне отличается от белков, имеющих жесткую трехмерную архитектуру

Белки – «строительный материал» всего живого, а кроме того – глаза, руки и ноги живых клеток. Даже ДНК, эта «икона» биологии, стала таковой прежде всего по той причине, что содержит гены, в которых закодирована информация о синтезе белков. И типы клеток нашего тела различаются по тому, каким набором активных генов – а значит, и белков – они располагают.

С учетом всей важности белковых молекул можно подумать, что их строение и функции давно известны. Однако та картина, которую мы имеем в настоящее время, все еще содержит белые пятна. Установлено, что белковые молекулы состоят из аминокислот, образующих цепочку. Считается также, что необходимое условие функционирования такой цепочки – ее правильная пространственная укладка. Однако имеются сведения, что многие белки безупречно выполняют свои функции без всякой укладки, а некоторые принимают определенную конформацию только в случае необходимости. Одна треть белков человека «внутренне неупорядочена», т.е. содержит несколько пространственно неструктурированных участков.

Молекулярным биологам давно известно, что ферменты, например полимеразы, которые копируют молекулы ДНК или осуществляют синтез РНК на ДНК-матрице, представляют собой сложные наностройства, состоящие из множества сочлененных подвижных сегментов. Последние могут поворачиваться один относительно другого, но сами по себе являются жесткими элементами, как части складного стула. В отличие от этого, внутренне неупорядоченные белки похожи скорее на недоваренные спагетти, беспорядочно изгибающиеся в кастрюле с кипятком.

Пятнадцать лет назад подобные высказывания были бы восприняты как псевдонаучная ересь. Сегодня же становится очевидным, что определенная аморфность белковых молекул не толь-



ОБ АВТОРАХ

Кит Данкер (A. Keith Dunker) – биофизик, работающий в Медицинской школе Университета Индианы, возглавляет Центр вычислительной биологии и биоинформатики. До 1995 г. занимался исследованием вирусов, затем посвятил себя изучению неструктурированных белков. **Ричард Кривацки** (Richard W. Kriwacki) работает в Детском научно-исследовательском госпитале им. Св. Иуды Фаддея в Мемфисе. Занимается структурной биологией. В 1996 г., будучи сотрудником Научно-исследовательского института им. Скриппса в Ла-Хойе, одним из первых обнаружил функционально активные неструктурированные белки.

ко возможна, но и была необходима (например, при зарождении жизни на Земле) – она играет ключевую роль во время деления клеток и активации генов. Такой поворот во взглядах имеет не только фундаментальное, но и прикладное значение. Есть надежда, что в результате будут найдены новые подходы к лечению многих заболеваний, в том числе онкологических.

Полное соответствие

Идея жесткой взаимосвязи трехмерной структуры белков и их функций впервые была высказана в 1894 г. Эмилем Фишером (Emil Fischer), химиком из Бер-

линского университета. Он предположил, что ферменты – катализаторы биохимических реакций – взаимодействуют с другими молекулами, связываясь с областями на их поверхности, которые имеют специфическую конформацию. Те же молекулы, чья конформация хоть немного отличается, фермент «замечать» отказывается. Другими словами, фермент и субстрат в точности подходят друг другу, как ключ к замку.

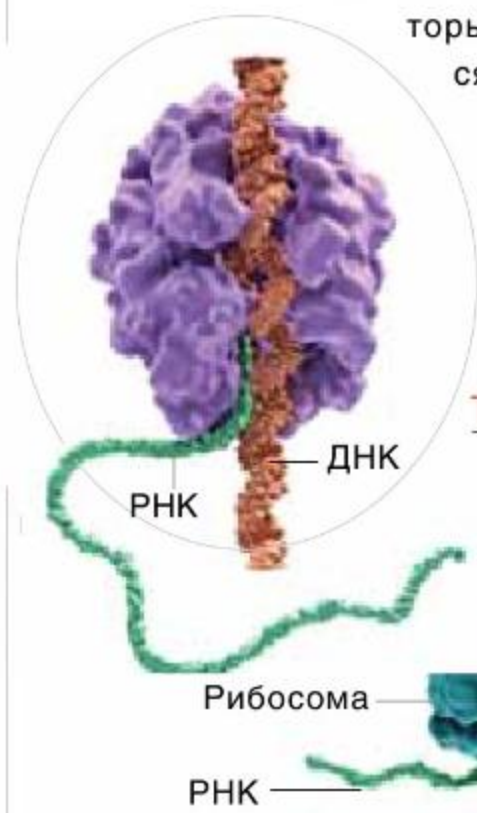
В то время, когда родилась эта идея, природа белков еще не была известна. Только в течение последующих 60 лет выяснилось, что белковая молекула – это цепочка

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

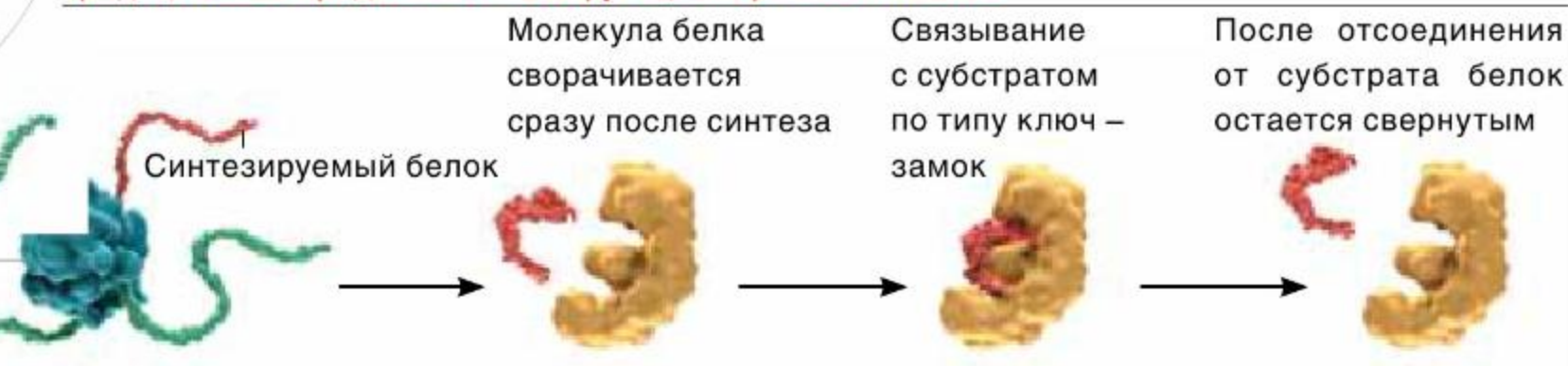
- Согласно общепринятому мнению, для выполнения своих функций белки должны находиться в строго определенной пространственной конфигурации. Однако последние эксперименты показывают, что примерно треть белков человека частично или полностью неструктурированы.
- Долгое время отсутствие четкой структурированности у какого-либо белка считалось аномалией. Обнаружилось, однако, что именно это свойство обеспечивает функциональную активность многих белков.
- Неструктурированные белки, по-видимому, играли ключевую роль в эволюции. Изучение их свойств поможет глубже понять природу всего живого.

БОЛЕЕ ШИРОКИЙ ВЗГЛЯД НА СТРУКТУРУ БЕЛКОВ

На молекуле ДНК с помощью клеточного аппарата транскрипции синтезируются РНК, которые на рибосомах транслируются в белки. Во всех учебниках биологии говорится, что белковая цепочка сразу же после синтеза (или даже еще до его завершения) упаковывается в строго определенную структуру (верхняя часть схемы), способную, например, связываться со специфическим субстратом. Однако многие белки остаются неупакованными (целиком или частично), что позволяет им взаимодействовать не с одним уникальным субстратом, а с разными, или выполнять другие функции

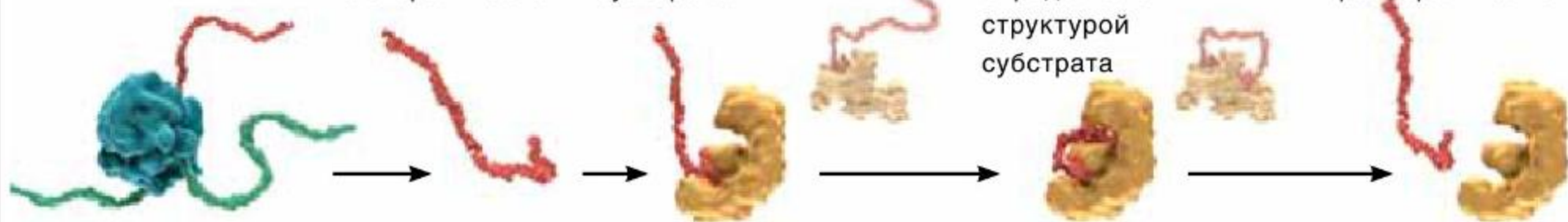


Традиционное представление о функционировании белков



Новый взгляд на процесс

Белковая молекула не сворачивается. Белок может связываться с разными субстратами. Принимаемая им конформация определяется структурой субстрата. После отсоединения от субстрата белок разворачивается.



из аминокислот; белок становится биологически активным только тогда, когда цепочка принимает определенную пространственную конфигурацию. Идея Фишера получила четкое экспериментальное подтверждение лишь в 1931 г., когда китайский биохимик Сянь У (Hsien Wu) показал, что с утратой трехмерной упорядоченности (например, вследствие денатурации при нагревании) белок перестает функционировать. В 1958 г. была установлена трехмерная структура миоглобина спермы кита, и с тех пор определена архитектура более 50 тыс. типов белков. Для этого их сначала кристаллизовали, а затем исследовали кристаллы методом рентгеновской дифракции.

Обнаружилось, что в белковом «царстве» со структурированно-

стью далеко не все в порядке. Еще в начале 1900-х гг. выяснилось, что многие антитела способны связываться не с каким-то одним антигеном, а с несколькими. Это определенно не укладывалось в рамки модели «ключ – замок». В 1940-х гг. известный биохимик Лайнус Полинг (Linus Pauling) предположил, что некоторые антитела могут укладываться в пространстве несколькими способами, и характер их укладки каждый раз диктуется соответствием между данными антителом и антигеном.

Начиная с 1940-х гг. время от времени стали появляться свидетельства того, что не все белки в своем поведении руководствуются правилом соответствия между структурой и функцией. Но они рассматривались как исключения из правил.

Один из нас (Кит Данкер) был в числе тех, кто впервые систематизировал такие «исключения» и позволил себе усомниться в универсальности догмы. В 1953 г. молекулярные биологи обратили внимание на то, что казеин (белок, содержащийся в молоке) по большей части неструктурирован; возможно, это облегчает его переваривание детенышами млекопитающих. А в 1970-х гг. обнаружилось, что в молекуле фибриногена есть довольно протяженный участок, не имеющий жесткой конфигурации; наряду с другими, менее длинными и выявленными позже, он играет ключевую роль в свертывании крови. В тех же 1970-х гг. было установлено, что конформация белков наружной оболочки (капсида) вируса табачной мозаики зави-

сит от того, находится ли внутри нее РНК, синтезируемая при репликации. Когда капсид не заполнен, белковые молекулы содержат протяженные неструктурированные сегменты, свободно свисающие в его полость. При появлении вновь синтезированных РНК эти сегменты связываются с ними, принимая фиксированную конформацию.

Несмотря на все факты, большинство экспериментаторов продолжали считать, что если в опытах *in vitro* им не удалось «заставить» белок упаковаться надлежащим образом, значит, они делали что-то не так, и в живой клетке он непременно упакуется как надо. Один из наиболее распространенных методов определения структуры белков – ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Исследования поведения изолированных белков в растворе с его помощью время от времени приводили к обескураживающим результатам, которые интерпретировались как ошибочные.

Однако они заслуживают более внимательного к себе отношения. Метод ЯМР-спектроскопии основан на использовании мощных радиочастотных импульсов, под действием которых ядра атомов конкретных элементов, например водорода, начинают синхронно вращаться. Частота резонансного вращения четко коррелировала с взаимным расположением атомов в аминокислотах и с локализацией аминокислот в полипептидной цепи. Регистрируя изменения резонансных частот, можно воссоздать целостную картину пространственной организации белковой молекулы. Но если аминокислоты хоть немного смещаются – как обычно и происходит в неструктурированных белках, – то сдвиги частот становятся хаотичными и неинформативными.

В 1996 г. один из нас (Ричард Кривацки, работавший в то время в Институте Скриппса), исследуя с помощью ЯМР структуру белка *p21* – участника регуляции процесса клеточного деления, обнаружил нечто удивительное:

p21 почти целиком неструктурирован. Аминокислоты, из которых он состоит, свободно вращаются относительно пептидных связей, соединяющих их друг с другом, и находятся в фиксированном положении не дольше долей секунды. Однако белок выполняет свои регуляторные функции. Это стало первым неоспоримым подтверждением концепции, что неструктурированность белка не означает его неспособности активно работать.

ЯМР-спектроскопия по-прежнему выступает как основной способ определения трехмерной структуры белков и вместе с другими методами подтверждает наличие пространственно неупорядоченных белков. Их молекулы непрерывно изменяют конфигурацию под действием броуновского движения и вследствие собственных тепловых флуктуаций – и, тем не менее, всегда работают исправно.

Белковые спагетти

Такое положение как нельзя лучше иллюстрируется поведением белка *p27*, присутствующего в организме большинства позвоночных. Как и *p21*, он участвует в регуляции процесса клеточного деления, не позволяя клеткам бесконтрольно множиться. По данным ЯМР-спектроскопии, молекула *p27* чрезвычайно динамична, ее сегменты быстро укладываются в α -спирали и β -слои, затем тут же переходят в неупорядоченное состояние – и так все время. Содержание этого белка в раковых клетках понижено, и чем его меньше, тем хуже прогноз.

Молекула *p27* выступает в роли тормоза клеточного деления, связываясь с киназами по крайней мере шести типов и подавляя их активность. Киназы – ключевые регуляторы репликации ДНК – присоединяют фосфатную группу (PO_4) к другим белкам (фосфорилируют их), запуская целый каскад процессов. *p27* обвивается вокруг молекулы киназы – довольно жесткой структуры – и экранирует ту ее область, где находится активный центр. Это блокирует процесс фосфорилирования, а тем самым –

и деление клетки. Именно благодаря своей гибкости *p27* может подавлять активность множества ферментов. Белки такого типа иногда называют неразборчивыми (по-научному – неспецифическими).

Белок *p27*, будучи совершенно неупорядоченным, находится у одного конца структурной шкалы, а киназы – у противоположного. Между ними располагается множество других белков, содержащих как упорядоченные, так и неупорядоченные сегменты. Антиподом киназ служит белок кальциневрин, один из участников иммунного ответа: он отщепляет фосфатные группы от фосфорилированных белков. У молекулы кальциневрина есть структурированный сегмент, формирующий активный центр, который функционирует в соответствии с правилом ключ – замок. Неструктурированная область связывается с центром и подавляет фосфорилирующую активность фермента, когда в ней нет нужды. Таким образом, кальциневрин – это два белка в одном: структурированный сегмент осуществляет катализ, а неструктурированная область регулирует сам процесс.

Все рассмотренные нами примеры относятся к белкам, которые при функционировании так или иначе укладываются в пространстве – замыкаются сами на себя или оборачиваются вокруг своих субстратов. Но необходимое условие работы некоторых белков – как раз неупорядоченность их структуры. Известен, например, случай, когда неупорядоченный сегмент играет роль таймера, регулирующего время сближения двух сайтов связывания в белковой молекуле. Чем длиннее сегмент, тем дольше происходит сближение, и наоборот. А вот другой пример: неструктурированность облегчает прохождение белков через узкие поры в клеточной мембране и тем самым обеспечивает их функционирование. Неструктурированные белки присутствуют в аксонах нервных клеток, препятствуя их схлопыванию.

НЕПРИХОТЛИВЫЕ «РАБОЧИЕ ЛОШАДКИ» ЖИВОЙ КЛЕТКИ

Ферменты, «строительные блоки» различных биологических структур, молекулярные клеточные машины и многое другое – все это белки или белковые комплексы, выполняющие самые разные функции. Здесь представлены примеры, когда необходимым условием биологической активности белков выступает отсутствие у них определенной пространственной организации

ШАГАЮЩИЙ ПЕРЕВОЗЧИК

Две копии белка под названием кинезин образуют молекулярное устройство, которое пошагово перемещается вдоль микротрубочек и доставляет «груз» из одной части клетки в другую. Каждый шаг совершается при участии особой высокоэнергетической молекулы – АТФ, которая связывается с «передней ногой» устройства и заставляет неструктурированный линкерный участок белковой молекулы обернуться вокруг ноги. Параллельно линкер подтягивает «заднюю ногу», выставляет ее вперед, и она прикрепляется к микротрубочке

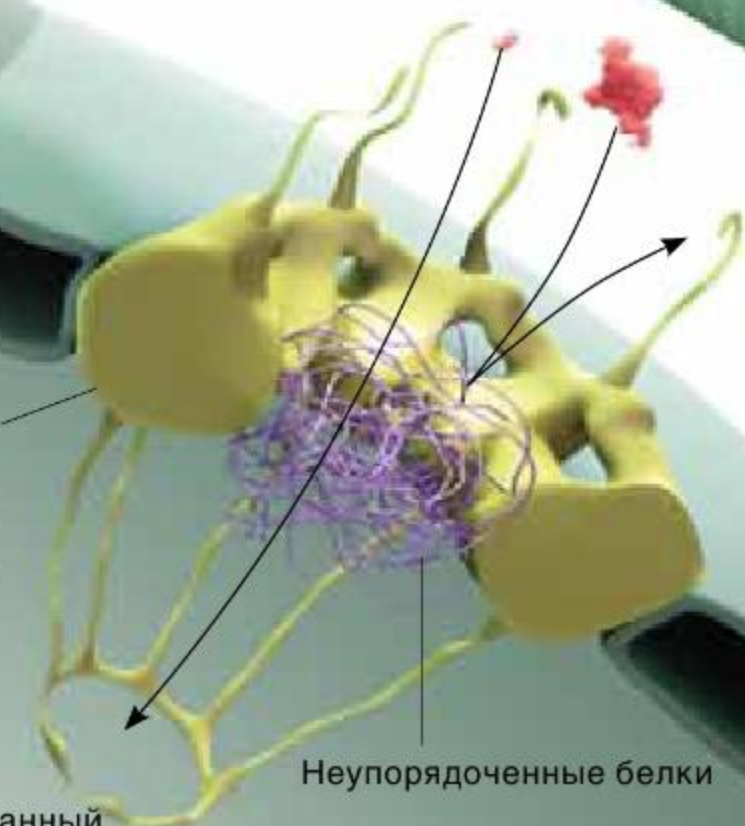


БЕЛОК-ЦЕЛИТЕЛЬ

Когда в ДНК возникают какие-либо повреждения (например, под действием радиации), за работу принимается белок *p53*. Комплекс из четырех его копий связывается со специфическим участком ДНК и запускает синтез репарирующих ферментов. Неструктурированные участки комплекса обеспечивают его обертывание вокруг двойной спирали. Кроме ДНК, *p53* связывается с РНК и белками более 100 типов



Белковый комплекс, образующий пору



Неупорядоченные белки

БЕЛОК-ПРИВРАТНИК

Трансмембранный белковый комплекс, образующий пору в ядерной мембране, состоит из белков 30 типов. Они собраны в восьмигранник – структуру, пропускающую одни молекулы и задерживающую другие. Вход в пору закрыт неупорядоченными, перепутанными друг с другом белковыми молекулами. Низкомолекулярные вещества, например вода, проходят через эту сеть свободно, а высокомолекулярные – только с помощью переносчиков

И уже полной неожиданностью стало обнаружение белков, которые остаются неструктурированными, даже будучи связанными с субстратом. Недавно наша коллега идентифицировала такой белок у дрожжей. Он взаимодействует со своим субстратом через посредство нескольких коротких сегментов, которые то контактируют с одним и тем же сайтом связывания, то удаляются от него, при этом большая часть белковой молекулы остается неструктурированной.

Неупорядоченность встречается и у белков простых микроорганизмов. Так, вирусы, инфицирующие бактериальные клетки (их называют бактериофагами), прикрепляются к мембране клетки-хозяина с помощью белков, связанных с фаговой частицей гибкими мостиками (линкерами). Эти белки, гораздо меньшие по размерам и более подвижные, чем вся частица, быстро переориентируются в пространстве и обеспечивают оптимальное для «стыковки» взаимное расположение вирусной частицы и бактериальной клетки.

Неструктурированность – вовсе не исключение

В настоящее время идентифицировано примерно 600 частично или полностью неструктурированных белков, но мы полагаем, что их гораздо больше. Ведь из 100 тыс. белков, присутствующих только в организме человека, изучена лишь небольшая часть. На это же указывают и результаты новых биоинформационных исследований, проводимых Данкером и его сотрудниками. Подобного типа подходы основываются на результатах проведенных ранее теоретических исследований структуры отдельных белков, подразумевавших, что тип укладки синтезируемых клеткой белков определяется особенностями их аминокислотной последовательности. В частности, объемные гидрофобные аминокислоты имеют тенденцию к расположению внутри белковой глобулы, где они экранированы от во-

дного окружения, а небольшие гидрофильные – на ее поверхности.

Данкер решил сравнить последовательности аминокислот неупорядоченных и упорядоченных белков. И вот что он обнаружил в 1997 г.: неупорядоченные белки, как правило, богаче гидрофобными аминокислотами, чем их антиподы. Определив соотношение между содержанием гидрофобных и гидрофильных аминокислот, можно установить, какой будет структура исследуемого белка.

К началу 2000-х гг. Данкер со своей командой просмотрел белки представителей всех царств живого мира. Он использовал компьютерную программу, которая позволяет выявлять сегменты ДНК, кодирующие протяженные цепочки гидрофобных аминокислот. Белки, содержащие такие участки, – наиболее вероятные кандидаты на роль по крайней мере частично неструктурированных молекул. Чем проще организм (бактерии, археи и т.д.), тем вероятнее, что его белки будут структурированы. И наоборот: у более сложных организмов (эукариот) – дрожжей, плодовой мушки, человека – скорее всего будут преобладать неструктурированные белки.

Исследования продолжил Дэвид Джонс (David T. Jones) из Университетского колледжа в Лондоне. В 2004 г. он обнаружил удивительный результат: целых 35% белков человека содержат протяженные неструктурированные участки, т.е. модель «ключ – замок» для них не подходит.

Причины такой разноголосицы пока не установлены. Возможно, структурированность оптимальна для выполнения белками ферментативных функций, а неструктурированность – сигнальных или регуляторных. У таких простых организмов, как бактерии, все клеточные структуры и механизмы находятся «в одном флаконе». У более сложных живых систем они распределены по разным органеллам: часть находится в ядре, часть – в аппарате Голь-

джи, митохондриях и т.д. Для согласованной работы клеточного аппарата в целом между органеллами должен происходить обмен информацией – данную функцию выполняют сигнальные молекулы. Еще больше в согласованной работе нуждаются многоклеточные организмы – здесь регуляция осуществляется не только на внутриклеточном, но и на межклеточном уровне, а также на уровне разных органов и тканей. Белок p27, о котором мы говорили выше, благодаря своей гибкости способен передавать сигналы разными путями: «сообщение» может быть закодировано в его трехмерной конфигурации, химической модификации (например, фосфорилировании) и т.д.

Тайны эволюции

Невысокое содержание неупорядоченных белков в бактериальных клетках на первый взгляд свидетельствует о том, что они появились на Земле на поздних этапах эволюции. Однако целый ряд фактов свидетельствует об обратном. Прежде всего, в наиболее важных сигнальных системах бактерий используются все-таки неупорядоченные белки. Далее, у древнейших в эволюционном плане молекулярных механизмов, состоящих из комплексов РНК с белками, последние почти целиком или частично неструктурированы, будучи в не связанном с РНК состоянии. В числе таких механизмов – сплайсосомы (структуры, которые удаляют из молекул – предшественников матричных РНК некодирующие участки) и рибосомы («фабрики» синтеза белков на мРНК).

О древности неструктурированных белков свидетельствуют и результаты исследований происхождения жизни. Суть одной из наиболее популярных сегодня гипотез заключается в том, что генетическим материалом у первых организмов была РНК. Данная молекула служила одновременно и носителем генетической информации, и катализатором биохимических реакций. У современных организмов

данные функции разделены – их выполняют ДНК и белки соответственно. В теории «РНК-мира» есть одна нестыковка, связанная с тем, что укладка молекулы РНК с образованием каталитически активной формы происходит крайне неэффективно. У современных организмов проблема решается просто: принять нужную информацию молекулам РНК помогают особые белки – шапероны, а стабилизируют ее другие белки. Интересно, что и те, и другие до связывания с РНК находятся в неструктурированном виде.

Еще более весомые аргументы в пользу древнего происхождения неупорядоченных белков дает исследование зарождения генетического кода – свода правил, по которому информация переводится с языка нуклеотидов (из них состоят ДНК и РНК) на язык аминокислот («кирпичиков» белков). Существует мнение, что для одних аминокислот код появился в ходе эволюции раньше, чем для других. Объемные гидрофобные аминокислоты, заставляющие аминокислотную цепочку свернуться в клубок (глобулу), относятся к последней категории, так что самые первые белки, по-видимому, находились в полностью развернутой конформации. Если такие идеи относительно эволюции генетического кода верны, то первые появившиеся на Земле белки были представлены слабо структурированными или вовсе не структурированными молекулами. Более поздние белки, содержащие гидрофильные аминокислоты, становились все упорядоченнее. За миллионы лет эволюции они приобрели способность укладываться в пространстве строго определенным образом, у них появилась ферментативная активность, и РНК как катализатор покинула сцену.

Обоюдоострое оружие

Белки наряду с нуклеиновыми кислотами (ДНК и РНК) – ключевые молекулы живых организмов. Неудивительно поэтому, что с наруше-

нием их структуры и функций связаны многие заболевания. Новый взгляд на роль неупорядоченности белковых молекул позволяет по-другому подойти к пониманию природы многих патологий и наметить пути их устранения.

Прежде всего необходимо уяснить, что в некоторых случаях неструктурированность белка небезопасна: если подобных белков слишком много, то они могут, встречаясь друг с другом, слипаться и образовывать сгустки. Такие сгустки (бляшки), если они появляются в головном мозге, служат предпосылкой развития многих нейродегенеративных расстройств: болезни Альцгеймера, болезни Паркинсона, хореи Гентингтона. Чтобы этого избежать, нужно держать степень неструктурированности белков под контролем. Масштабные эксперименты на дрожжах, мышках и человеке, проведенные в 2008 г. Маданом Бабу (M. Madan Babu) из лаборатории молекулярной биологии Медицинского исследовательского центра в Кембридже (Англия), показали, что клетки контролируют содержание неупорядоченных белков более строго, чем упорядоченных.

Осознание того факта, что внутренне неупорядоченные белки могут быть причастны к развитию некоторых заболеваний, привело к появлению новых идей в терапии. В основе почти всех биологических процессов лежат межбелковые взаимодействия; они и были мишенью многих лекарственных средств – впрочем, без особого успеха. Гораздо более перспективным представляется воздействие на взаимоотношения ферментов и малых молекул. Часто место связывания структурированных белков находится в так называемом кармане – полости в их структуре; на нее и должно быть направлено действие лекарственных препаратов при соответствующих патологиях. Подобный подход уже доказал свою эффективность в опытах на лабораторных животных, больных раком. Сейчас предпринимаются попытки провести клини-

ческие испытания веществ – кандидатов на роль средств борьбы с онкологией.

Становится все более очевидно, что одни биологические функции лучше выполняются жестко структурированными белками, другие – динамичными. С наступлением нового этапа в понимании взаимосвязи структуры белков и их функций возникают предпосылки к пересмотру наших взглядов на функционирование живых систем – и, возможно, на подходы к лечению многих заболеваний. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Structural Studies of p21Waf1/Cip1/Sdi1 in the Free and Cdk2-Bound State: Conformational Disorder Mediates Binding Diversity. Richard W. Kriwacki et al. in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 93, No. 21, pages 11504-11509; October 15, 1996.
- Identification and Functions of Usefully Disordered Proteins. A. Keith Dunker et al. in Advances in Protein Chemistry, Vol. 62, pages 25-49; 2002.
- Intrinsically Unstructured Proteins and Their Functions. H. Jane Dyson and Peter E. Wright in Nature Reviews Molecular Cell Biology, Vol. 6, pages 197-208; March 2005.
- Structural Disorder Throws New Light on Moonlighting. Peter Tompa et al. in Trends in Biochemical Sciences, Vol. 30, No. 9, pages 484-489; September 1, 2005.
- Уже известные неструктурированные белки можно найти на сайте www.disprot.org; на www.rcsb.org/pdb доступна база данных по структурированным белкам.



МЯСО ИЗ ПРОБИРКИ

Большая группа ученых ищет способы удовлетворить растущие потребности человечества по части аппетитных стейков, не разрушая при этом планету. Возможно, ответ кроется в чашке Петри

Джеффри Бартолет

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Выращенное в лаборатории мясо может стать источником пищи с высоким содержанием белка, не связанной с этическими и экологическими проблемами, характерными для традиционного скотоводства.
- Пока прогресс замедлился, в немалой степени из-за трудностей с финансированием.
- Одна многообещающая стратегия связана с выращиванием эмбриональных стволовых клеток домашнего скота в культуре и с последующей стимуляцией их к дифференцировке в клетки скелетной мускулатуры.
- Даже если исследование увенчается успехом, возникает вопрос, будет ли общественность есть мясо, полученное в лаборатории.

ОБ АВТОРЕ

Джеффри Бартолет (Jeffrey Bartholet) – давний зарубежный корреспондент и бывший шеф вашингтонского бюро журнала *Newsweek*.



Наверное, истинный мечтатель всегда одержим какой-то идеей (если не сказать – фанатично ей предан), и медик Виллем ван Эйлен (Willem van Eelen) здесь не исключение. В свои 87 лет Виллем часто вспоминает прожитые годы, составившие весьма неординарный жизненный путь. Он родился в Индонезии, бывшей в то время голландской колонией. Его отец, врач, руководил местным лепрозорием. Подростком во время Второй мировой войны он сражался с японцами и провел несколько лет в лагере военнопленных. Японские охранники использовали заключенных как рабов и морили их голодом. «Если какая-нибудь бездомная собака оказывалась достаточно глупой, чтобы зайти на территорию лагеря, пленные бросались на нее, разрывали на куски и съедали сырой, – рассказывает ван Эйлен. – Если бы вы в то время посмотрели на мой живот, то увидели бы позвоночник. Я был еле живой». Эти события привели к сохранившейся на всю жизнь одержимости вопросами питания и к искусству выживать в экстремальных условиях.

Одна одержимость плавно перетекла в другую. После капитуляции японцев в Индонезии ван Эйлен поступил в Амстердамский университет, где начал изучать медицину. Однажды профессор показал студентам, как можно вырастить в лаборатории образец мышечной ткани. Эта демонстрация вдохновила ван Эйлена направить свои усилия на изучение возможности получать вполне съедобное мясо, не прибегая к разведению и забою скота. Представьте себе богатую белками пищу, которую можно будет выращивать в лаборатории вне зависимости от климата или иных условий окружающей среды, и при этом не будет убито ни одно живое существо!

Пожалуй, сейчас такая идея выглядит гораздо более убедительной. А тогда, в 1940 г. население Земли немногим превышало 2 млрд, и глобальное потепление еще не стало предметом беспокойства. Сегодня на планете живет в три раза больше людей. В соответствии с отчетом Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН за 2006 г., 18% от всех парниковых газов, выделившихся в атмосферу в результате антропогенной деятельности, составили выбросы, связанные с животноводством

(для сравнения: это больше, чем объем выбросов от всей мировой транспортной сети). И ожидается, что с 2002 по 2050 г. потребление мясопродуктов в мире удвоится.

Получение мяса в биореакторах (в отличие от соответствующей отрасли животноводства) будет способствовать снижению нагрузки на экосистему планеты в целом. В прошлом году был осуществлен проект по изучению влияния «мяса из пробирки» на окружающую среду, одним из авторов которого была Ханна Туомисто (Hanna Tuomisto), аспирант Оксфордского университета. Ее работа показала, что подобное произ-

водство, в том случае если ученые сумеют выращивать мышечные клетки на среде из гидролизата цианобактерий (бактерий, культивируемых в резервуарах), потребует «меньших затрат энергии, приблизительно на 35-60%, а также даст снижение выбросов парниковых газов на 80-95% и до 98% сократит использование земли по сравнению с традиционным способом получения мясопродуктов в Европе».

Пока что 30% свободной от ледников суши используются под пастбища и посевы кормовых культур. Если выращенное в лаборатории мясо станет конкурентоспособным и активно потребляемым, большую часть этих площадей можно будет использовать для других целей, например для выращивания новых лесов, которые поглотят углерод из атмосферы. Помимо того, мясо не нужно будет развозить по всему земному шару, т.к. такое производство можно размещать в непосредственной близости от потребителя. Некоторые сторонники этой идеи уже готовы представить небольшие городские комбинаты по производству мяса, продающие свою продукцию здесь же, как на уличных рынках, которыми активно пользуются приверженцы новой модной диеты – «местноядные».

В нормальных условиях десять клеток могут дать 50 тыс. т мяса за два месяца. Одна такая линия клеток будет способна накормить весь мир

Единственная возможность

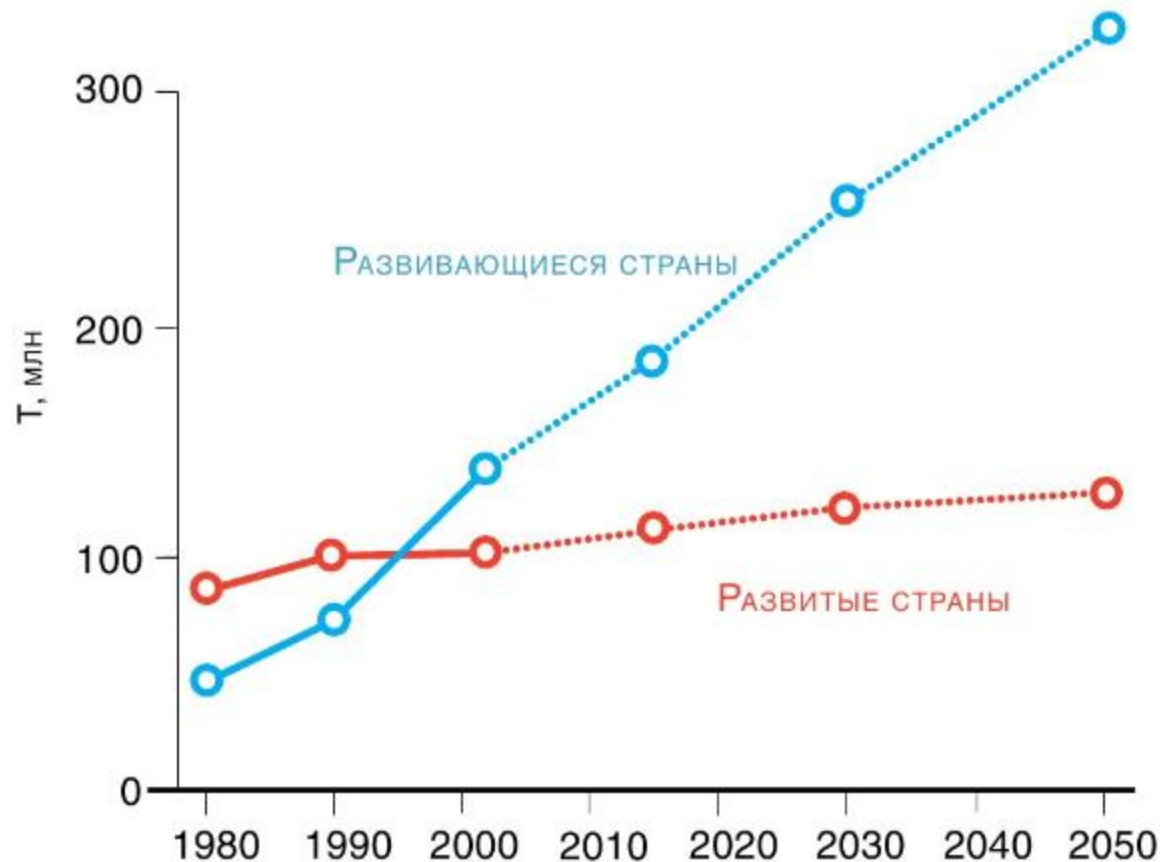
Даже Уинстон Черчилль считал «мясо из пробирки» отличной идеей. «Через 50 лет мы сможем выйти за пределы абсурдности выращивания целого цыпленка, если в пищу употребляется только его грудка или крылья, получая необходимые части отдельно благодаря соответствующему методу». Он предсказал это еще в 1932 г. в своей книге «Размышления и приключения». Однако из всего множества людей, живших в XX в., лишь небольшая часть восприняла идею всерьез, но ван Эйлен не позволил ей заглохнуть. Он не чурался никакой работы – продавал газеты, водил такси, мастерил кукольные домики. Он основал благотворительную организацию, помогающую детям из непривилегированных семей, стал владельцем арт-галерей и сети кафе. Виллем ван Эйлен написал планы по производству «мяса из пробирки» и в итоге вложил большую часть заработанных средств в регистрацию патентов. Вместе с двумя партнерами он получил в 1999 г. голландский патент, затем все европейские патенты и, в итоге, два патента США. В 2005 г. вместе с коллегами он сумел наконец убедить Министерство экономики Нидерландов вложить €2 млн в поддержку голландских исследований по получению «мяса из пробирки», и на данный момент это крупнейший правительственный грант на подобные исследования.

К этому времени один американский ученый уже достиг определенных успехов: он вырастил в лаборатории кусок рыбного филе. Получив небольшой грант от NASA, заинтересованного в технологиях производства продуктов питания в условиях космических путешествий, Моррис Бенджаминсон (Morris Benjaminson) взял небольшой образец из скелетной мышцы обычной золотой рыбки и культивировал его вне рыбьего тела. Затем коллега быстро замариновал полученное филе в оливковом масле, добавил чеснока, лимонно-

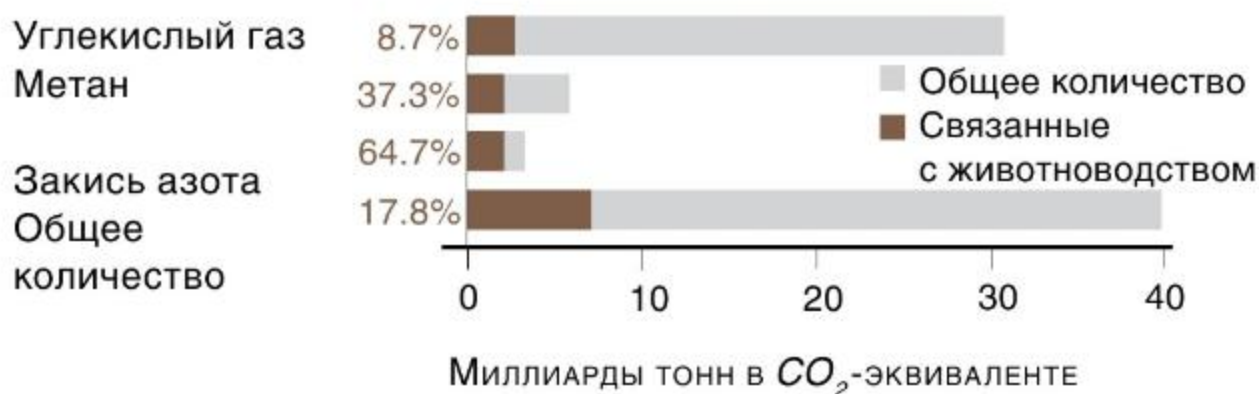
МЯСНАЯ ПРОБЛЕМА

В развитых странах мясо едят активно; развивающиеся страны их догоняют. Одна из причин – переезд людей в города и развитие инфраструктуры, обеспечивающей нормальные условия хранения мяса на всем пути от скотобойни до кухонного стола. И чем больше производится мяса сельским хозяйством, тем больший урон наносится планете. Животноводство уже обеспечивает 17,8% от общего объема выбросов парниковых газов в атмосферу

ПОТРЕБЛЕНИЕ МЯСА ВО ВСЕМ МИРЕ



ВКЛАД ОТРАСЛИ ЖИВОТНОВОДСТВА В ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ



го сока и перца, покрыл все панировкой и обжарил во фритюре. «Вид и запах полученного блюда оценивала группа коллег-женщин», – описывает Бенджаминсон, в настоящее время занимающий должность почетного профессора в Колледже Туро в Бей-Шор, штат Нью-Йорк. «Аромат образца и то, как он выглядел, никак не отличались от любого другого куска рыбы, купленно-

го в супермаркете». Но в NASA, по всей видимости, решили, что обеспечить астронавтов в длительном межзвездном путешествии белком можно и более простым способом, и отказали Бенджаминсону в финансировании этой работы. Нидерландское правительство решило иначе. На полученные от него деньги ван Эйлен и Х.П. Хагсман (H.P. Haagsman) из Утрехтско-

SOURCES: "LIVESTOCK PRODUCTION: RECENT TRENDS, FUTURE PROSPECTS," BY PHILIP K. THORNTON, IN PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY B, VOL. 365; 2010 (consumption graph); "LIVESTOCK'S LONG SHADOW," REPORT OF THE FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2006 (emissions graph)

ЕДА ИЗ ЧАШКИ ПЕТРИ

Исследователи работают над методами выращивания съедобных мясных продуктов из стволовых клеток сельскохозяйственных животных

1. Специалисты получают эмбриональные или региональные стволовые клетки от здоровой свиньи, коровы или курицы



2а. Стволовые клетки, полученные из эмбриона, легко заставить пролиферировать, но трудно стимулировать к дифференцировке именно в мышечные клетки



Питательная сыворотка



2б. Напротив, региональные стволовые клетки, полученные из мышечной ткани, плохо пролиферируют в пробирке, но легко превращаются в мышечные клетки

3. Ученые стимулируют стволовые клетки к многократному делению, культивируя их на питательной среде, полученной из бактерий, затем побуждая стволовые клетки дифференцироваться в мышечные

го университета приступили к реализации проекта, который должен был продемонстрировать, что можно взять у сельскохозяйственных животных стволовые клетки, заставить их делиться, а затем вызвать дифференцировку в клетки скелетной мускулатуры. В состав рабочей группы вошли сотрудники европейского отделения *Sara Lee Corporation*, представитель мясной компании *Meester Stegeman* и ведущие ученые из трех университетов Голландии. Каждый университет занимался различными аспектами производства «мяса из пробирки». Ученые из Амстердамского университета сфокусировались на разработке эффективных способов выращивания; группа из Утрехта работала над выделением стволовых клеток, заставляя их пролиферировать и добиваясь их дифференцировки в клетки мускулатуры; сотрудники Технического университета Эйндховена стремились «научить» мышечные клетки расти, становясь крупнее.

Ученые достигли некоторого прогресса. Они смогли вырастить в лаборатории небольшие, тонкие по-

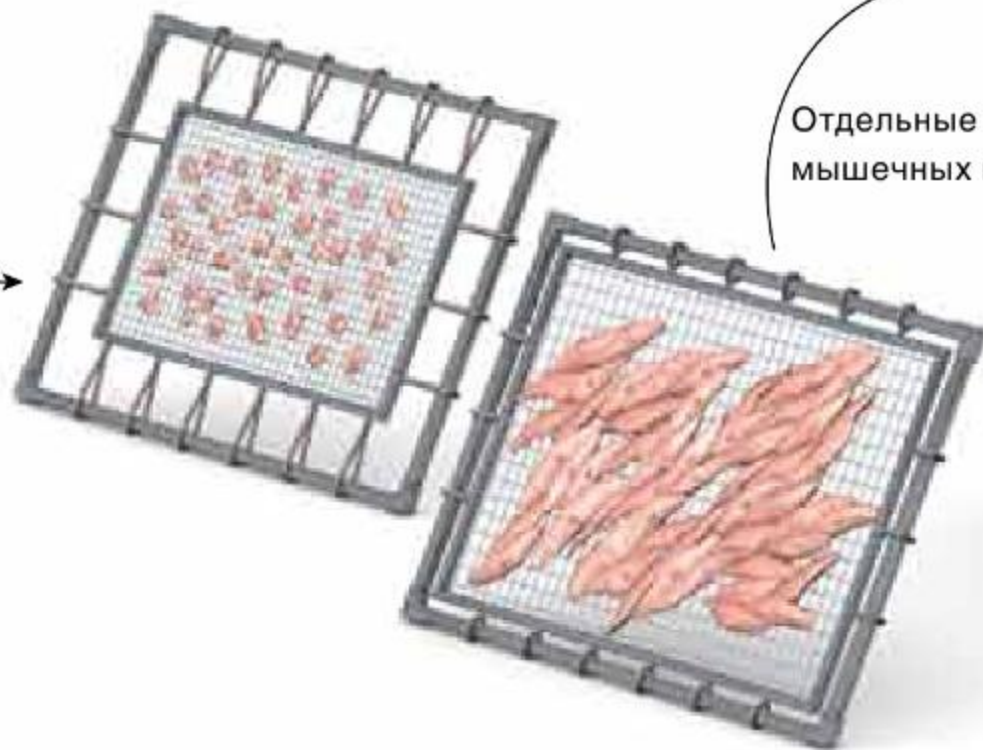
лости мускульной ткани – субстанции, выглядящей как эскалоп и по упругости напоминающей кальмара, но для коммерческого использования этого продукта существовало несколько препятствий. «Мы приобрели опыт; теперь мы знаем намного больше, но нам пока не удалось получить в чашке Петри то, что напоминало бы стейк», – констатирует Петер Верстрэйт (Peter Verstrate), представляющий в проекте компании *Meester Stegeman* и сейчас выполняющий функции консультанта. Тем временем выделенные Нидерландами деньги закончились.

Ван Эйлен теперь сетует, что один из ученых, привлеченных к проекту, «оказался тупым», а другие просто доили из правительства деньги. «Я не знаю, что они делали все четыре года: только вели разговоры и каждый год требовали все больше денег», – негодует бывший руководитель проекта. В свою очередь, ученые говорят, что ван Эйлен никогда не понимал всей трудности задачи. «У него была наивная идея, что можно взять клетки мускулатуры, поместить в чашку Петри, и они будут

там расти, и если вложить в проект деньги, то за год-другой можно получить технологию производства мяса», – сетует Бернард Релен (Bernard Roelen), участник проекта и специалист по клеточной биологии из Утрехтского университета.

Ван Эйлен был не единственным человеком, мечтающим о подобной технологической революции. В 2005 г. в *New York Times* вышла статья, в которой говорилось, что «в течение нескольких лет должно появиться выращенное в лаборатории мясо, так же готовое к употреблению, как сосиска или пирожок». А за несколько месяцев до этого исследователи опубликовали в журнале *Tissue Engineering* первую статью с рецензией о перспективах промышленного производства культивируемого мяса. Одним из ее авторов был Джейсон Мэтени (Jason G. Matheny), соучредитель инициативной группы *New Harvest* в поддержку «мяса из пробирки». Он понимал трудности, встающие перед исследователями, лучше многих других. «Тканевая инженерия (т.е. технология культивирования тканей) сейчас действи-

4. Клетки помещают на каркас, где они формируют мышечные волокна. Возникающее натяжение тренирует клетки, позволяя им расти



Отдельные куски мышечных волокон



5. Клетки выросли и дошли до потребителя. Эти тонкие пучки мяса впервые появятся в продаже в виде готового продукта вроде сосисок или мясного фарша, а не целого стейка

тельно сложна и невероятно дорога, – говорит он. – Чтобы результат применения данной технологии дошел до рынка, необходимо в первую очередь решить технические проблемы, которые увеличивают его себестоимость». Это потребует денег, замечает он, а также участия нескольких правительств или всемирных организаций, желающих внести необходимые средства.

Для тех, кто работает в данной области, провал грандиозного проекта кажется лишь временным затруднением. «Я считаю, что "мясо из пробирки" со временем станет для нас единственным выходом, – озвучивает свою точку зрения Марк Пост (Mark J. Post), глава кафедры физиологии в Университете Маастрихта. – Я совершенно уверен в этом и не вижу других путей. Нельзя же все последующие десятилетия по-прежнему полагаться на устаревшее традиционное скотоводство».

Необходимое объединение

Лаборатория по производству мяса теоретически должна работать примерно следующим обра-

зом. На первом этапе технический персонал получает эмбриональные или региональные стволовые клетки из тела свиньи, коровы, курицы или любого другого животного. Затем клетки культивируют в биореакторах, используя среду, полученную из культуры бактерий. Стволовые клетки начинают делиться, процесс занимает несколько месяцев. После этого сотрудники должны будут стимулировать дифференцировку стволовых клеток в мышечные (вместо, скажем, костных или нервных). И, наконец, этап «дозревания» мускульных клеток физиологически должен напоминать процесс, происходящий при наращивании мышечной массы путем тренировок.

На данный момент трудности возникают с осуществлением каждой стадии этого процесса. Во-первых, проблема заключается в выведении линии таких стволовых клеток, которые могли бы длительное время пролиферировать без неожиданных попыток самопроизвольно дифференцироваться. Во-вторых, необходимо убедиться, что когда стволовым клеткам дали команду

к дифференцировке, подавляющее большинство из них дифференцировались именно в мышечные, как и следовало. «При дифференцировке необходимо, чтобы из десяти клеток хотя бы семь или восемь (а не три-четыре) стали клетками мускулатуры, – объясняет Релен. – Пока мы достигаем успеха лишь на 50%».

Ученые из Утрехта пытались выделить эмбриональные стволовые клетки свиней и создать из них устойчивую линию. Такие клетки в нормальных условиях были бы способны дублироваться каждый день в течение длительного периода времени, создавая из десяти клеток умопомрачительное количество потенциального мяса всего за два месяца – более 50 тыс. т. «Культуры эмбриональных стволовых клеток должны идеально подходить для этих целей, поскольку подобные клетки имеют практически неограниченную способность к самовоспроизводству, – было сказано в отчете 2009 г. команды из Утрехтского университета. – Теоретически одной такой культуры клеток будет достаточно, чтобы накормить буквально весь мир».

Однако до сих пор такие культуры клеток были получены только для мышей, крыс, макак-резусов и человека. Эмбриональные клетки сельскохозяйственных животных проявили склонность к быстрой дифференцировке в специализированные клетки и в довершение к этому – в различные их типы по своему усмотрению. В отчете utrechtской команды сказано, что свиные клетки чаще превращались в нейроны, т.е. в мозги, а не в бекон.

Помимо этого utrechtская группа пробовала работать и с региональными стволовыми клетками, которые имеют значительное преимущество в виде преддифференцировки. Эти клетки существуют в толще мышечной ткани (так же как и в других частях тела) и выполняют специфическую миссию: восстанавливают ткань при ее повреждении или гибели. Так что если вы стремитесь получить «мясо из пробирки» и нуждаетесь в стволовых клетках, которые практически наверняка превратятся в мускульную ткань, то извлеченные из мышечной ткани региональные стволовые клетки подойдут как нельзя лучше. Однако до сегодняшнего дня ученые не смогли заставить эти клетки пролиферировать так же активно, как это делают эмбриональные клетки.

Стоимость работы – еще один из барьеров. Любая культура стволовых клеток, независимо от их типа, очень дорога. Если прибавить к этому стоимость доступной в настоящий момент питательной среды, то для производства одного килограмма мяса придется потратить около \$100 тыс., как указывает Релен. Наиболее питательные культуральные среды производятся из околородной жидкости теллят и жеребят, полученной при забое животных. В последние годы исследователи разработали свою собственную рецептуру химически определенной культуральной среды, которая не содержит животных компонентов. Используя метод рекомбинантных ДНК, они «научили» растительные клетки синтези-

ровать животные белки, которые могут использоваться для выращивания мышечной ткани. Но оба типа сред в настоящий момент непозволительно дороги. Питательная среда на основе водорослей может в конечном счете оказаться эффективнее, т.к. водоросли могут продуцировать все протеины и аминокислоты, необходимые для поддержания жизнедеятельности стволовых клеток, но это тоже стоит денег – по крайней мере сегодня.

На следующем этапе, когда исследователи наконец получают значительный запас мышечных клеток, им понадобится обеспечивать их питанием во время этапа созревания. Уже сегодня возможно получить тонкий слой ткани, но если он станет на несколько слоев клеток толще, часть из них начнет гибнуть. Чтобы оставаться живыми, клетки нуждаются в постоянном притоке свежих питательных веществ. В организме эти вещества доставляются по кровеносным сосудам, через которые также происходит и отток отходов жизнедеятельности. Марк Пост занимается разработкой трехмерной системы, обеспечивающей поступление питательных веществ. Он изучает и процесс «дозревания» (т.е. роста и увеличения в размерах) мускульных клеток. «Когда после перелома с вас снимают гипс, это причиняет вам боль: мускулатура под ним атрофировалась, – объясняет исследователь. – Но за неделю-другую все возвращается в норму. Нам нужно лишь воспроизвести этот процесс». Мышцы млекопитающего могут восстанавливаться несколькими способами, включая тренировку. В лабораторных условиях ученые могут стимулировать ткань с помощью электрических разрядов. Но это дорого и неэффективно, т.к. приводит лишь к 10% увеличения в объеме. Другой метод – предоставление клеткам нескольких опорных точек; тогда они смогут прикрепиться к разным опорам и создадут натяжение сами по себе. Пост создал субстрат, представляющий собой каркас из полимерных сахаров,

которые со временем разрушаются. Но на этой стадии он забраковал идею: «Нам не нужны жесткие как подметка мышцы Шварценеггера».

В его уме созрела еще одна гипотеза, которая, как ему кажется, может сработать. Но она намного сложнее в реализации. Наше тело естественным образом стимулирует рост мускулатуры, воздействуя на нее микродозами химических веществ, например ацетилхолина. Подобные вещества дешевы, и отчасти именно это делает метод привлекательным. «Суть в том, чтобы вводить вещество очень малыми дозами», – говорит Пост. И препятствуют этому не пробелы в теории, а ограниченность современных технических возможностей.

Прорывы во всех вышеперечисленных областях безусловно требуют значительных денежных вложений. В 2008 г. организация, известная под аббревиатурой PETA (от англ. *People for the Ethical Treatment of Animals* – «Люди за этическое обращение с животными»), предложила \$1 млн первому, кто до середины 2012 г. сможет вырастить «в пробирке» куриное мясо по методике, пригодной для коммерческого использования. Но это был по большей части рассчитанный на публику рекламный трюк, который и не должен был помочь нуждающимся в деньгах ученым ускорить свои исследования. Более серьезное предложение поступило от правительства Нидерландов, недавно пообещавшего выделить около €800 тыс. на новый четырехлетний проект, который должен продолжить исследования стволовых клеток в Утрехте, а также инициировавшего исследование связанных с «мясом из пробирки» вопросов морального и социального характера.

Фактор неприятия

Самым серьезным препятствием для коммерческого использования «искусственного» мяса многие специалисты считают отношение к нему социума. «Я упоминала о культивируемом мясе в разговорах

с учеными, и все они говорили, что это прекрасная идея», – рассказывает Туомисто, аспирантка из Оксфорда. – Однако когда я поднимала эту тему в среде небиологов, они говорили о своих опасениях. Простых людей подобная постановка вопроса пугает. Неважно, что это те же мышечные клетки: ведь получены они были неестественным путем».

Кор ван дер Веле (Cor van der Weele) из Вагенингенского университета возглавляет философское направление исследований. Она ищет ответ на вопрос, абсолютно ли необходимо искусственно выращенное мясо с точки зрения морали или, напротив, противоестественно. И, возможно, ответ находится где-то посередине. Ван дер Веле была заинтригована эмоциональными реакциями, которые выдавали некоторые люди в ответ на эту идею: «Можно назвать это “реакцией омерзения”. Люди изначально считали, что в этом есть что-то отвратительное».

Но такое восприятие может быстро измениться, как считает она. Исследовательница также указывает, что люди часто ассоциируют искусственное мясо с двумя другими явлениями: генетически модифицированными продуктами (которые часто рассматриваются, особенно в Европе, как детище опасных планов крупных корпораций по контролю или оказанию давления на рынок пищевых продуктов) и негативной оценкой скотоводческой индустрии в целом (с ее гигантскими свинофермами, болезнями и жестоким обращением с животными). Когда люди осознают, что культивируемое мясо не модифицировано генетически и может быть чистой, не наносящей вреда животным альтернативой скотоводству, страх и негативная реакция быстро пройдут, считает она.

Конечно, подобные наблюдения ненаучны. Будущее исследование детально рассмотрит обычные реакции людей на «мясо из пробирки» (сравнивая данные из различных регионов с несхожими обычаями) и поможет опреде-

лить, как сформулировать воззвания, способные усилить интерес потребителя. Сторонники уже предвкушают тот день, когда правительства введут специальные «экологические» налоги на мясо, произведенное традиционным способом, или когда потребители предпочтут «искусственное» мясо потому, что ради него никого не убивают.

«Я не думаю, что вы хотите узнать о санитарных условиях на большинстве боен в США или об эффективности эвтаназии», – говорит Пост, проведший шесть лет в Гарвардском университете и Дартмутском колледже, до того как в 2002 г. вернулся домой в Нидерланды. Но еще одна эпидемия – вроде коровьего бешенства или птичьего гриппа – может превратить «мясо из пробирки» в аппетитнейшее лакомство. «Мы слишком далеки от того, что едим, – считает Релен. – Поедая гамбургер, мы не думаем о том, что это мертвая корова. А когда люди плохо представляют себе, как что производится, они готовы принять даже “искусственное” мясо».

Пост составил четкую схему по привлечению новых средств: он задался целью создать «сосиску из пробирки» просто чтобы продемонстрировать, что это возможно. Он оценивает все необходимые для этого затраты в пределах €300 тыс. и закладывает шесть месяцев на работу двух аспирантов с применением трех инкубаторов. «Мы сделаем свиньям две или три биопсии, получим, скажем, 10 тыс. стволовых клеток, – разъясняет Пост. – После того как популяция дублируется 20 раз, у нас будет 10 млрд клеток». Аспиранты воспользуются 3 тыс. чашек Петри, произведут множество мелких кусочков свиной мускульной ткани, которые затем будут упакованы вместе с приправами, специями и другими ингредиентами, улучшающими вкус и свойства конечного продукта. И, наконец, ученые смогут представить публике готовые сосиски и живую свинью, из которой они были выращены.

Пост признает: «Конечно, это трюк, рассчитанный на привлечение новых средств. Мы пытаемся показать обществу, что можем сделать что-то и без его участия». Но будет ли у этого продукта вкус сосиски? «Думаю, что не отличить! – смеется Релен. – Вкус куриных наггетсов или сосисок в основном определяется специальными вкусовыми добавками. Для придания нужного вкуса и запаха в продукт просто добавляются соль и все прочие компоненты».

Ван Эйлен (именующий себя не иначе как «крестным отцом “мяса из пробирки”») не поддерживает идею с сосисками. Он убежденный идеалист и считает, что важнее начать продуктовую революцию с мяса, которое выглядит, пахнет и имеет вкус нормального мяса с рынка. Также он, вероятно, понимает, что время, отпущенное ему на воплощение мечты, которой он посвятил практически всю свою жизнь, уходит. «Всякий раз, когда начинаешь с ним разговаривать, он рассказывает о ком-то, кого он нашел в качестве своей замены, кто станет ведущим ученым и решит все эти проблемы, – говорит Релен. – И я могу понять его точку зрения. Но, к сожалению, не могу изменить законы природы».

Перевод: Т.А. Митина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Production of Animal Proteins by Cell Systems. H.P. Haagsman, K.J. Hellingwerf and B.A.J. Roelen. University of Utrecht, October 2009.
- Livestock Production: Recent Trends, Future Prospects. Philip K. Thornton in Philosophical Transactions of the Royal Society B, Vol. 365, No. 1554, pages 2853-2867; September 27, 2010.
- Food: A Taste of Things to Come? Nicola Jones in Nature, Vol. 468, pages 752-753; 2010.
- Animal-Free Meat Biofabrication. B.F. Bhat and Z. Bhat in American Journal of Food Technology, Vol. 6, No. 6, pages 441-459; 2011. www.new-harvest.org

МИКРОБИОЛОГИЯ

САМАЯ УМНАЯ БАКТЕРИЯ НА ЗЕМЛЕ

Представители одного из видов почвенных микроорганизмов оказались способны принимать разумные совместные решения

Анна Качмент

Эшель Бен-Якоб (Eshel Ben-Jacob), профессор физики из университета Тель-Авива в Израиле, интересуется не только геномом изучаемых бактерий, но и их индивидуальными особенностями. Он сравнивает их с голливудскими звездами. «С одной стороны, мы восхищаемся ими, а с другой – считаем их глупыми», – говорит профессор. В декабре прошлого года он с коллегами опубликовал статью в журнале *BMC Genomics*, в которой говорилось, что определенный вид почвенных бактерий, открытый им в середине 1990-х гг., *Paenibacillus vortex*, удивительно рационален по меркам микробиологии.

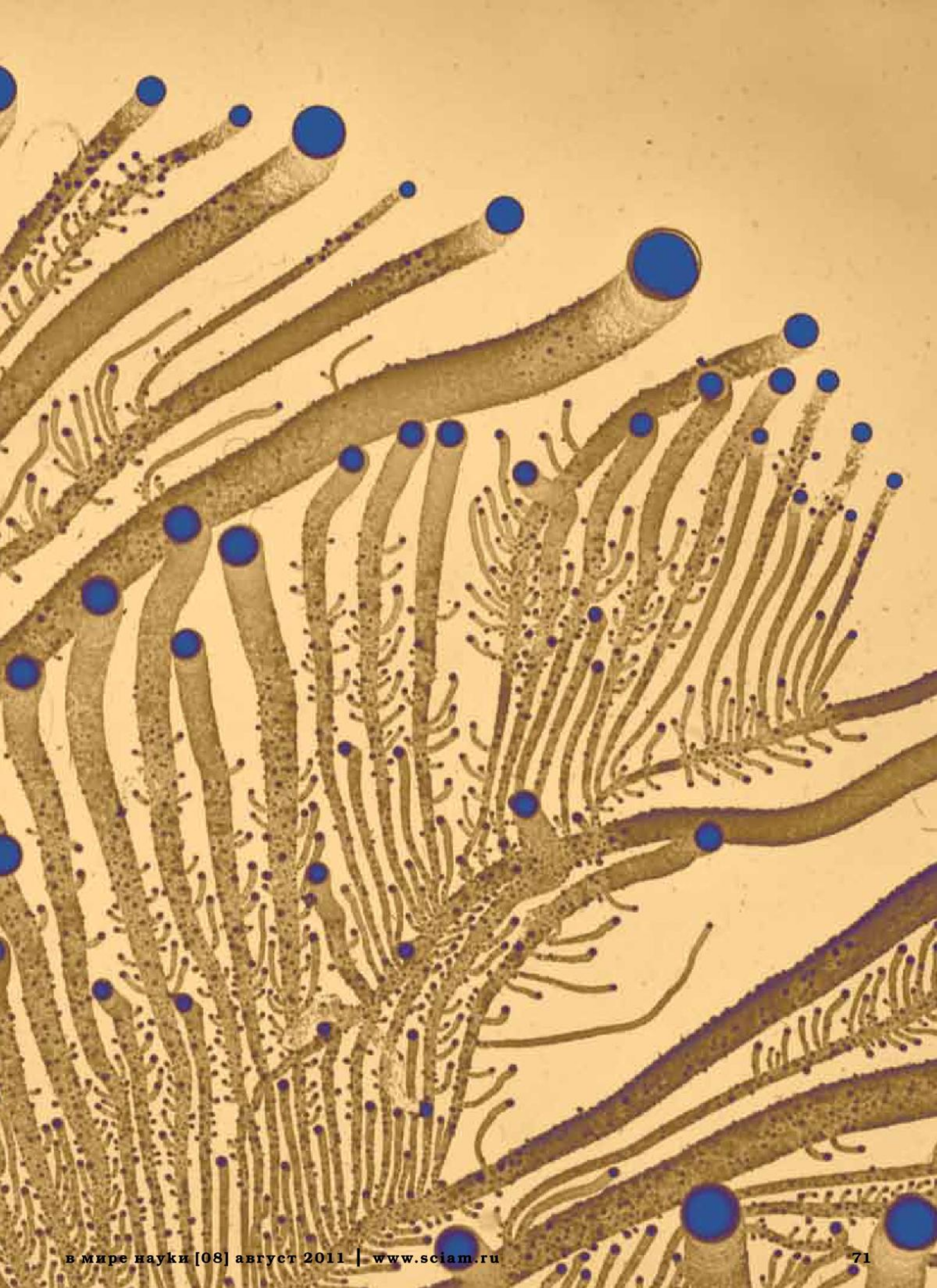
Группа исследователей зарегистрировала такую специфическую «разумность» при сравнении генома *P. vortex* с данными по другим 502 видам бактерий, геном которых уже был известен. На основании сравнения, результаты которого Бен-Якоб назвал «социальным IQ» микробов, ученые подсчитали количество генов, ассоциированных с социальными функциями бактерий, такими как «общение», переработка информации об окружающей среде и синтез химических соединений, полезных при конкуренции с другими организмами. *P. vortex* и два других штамма *Paenibacillus* содержат в своем геноме подобных генов больше, чем геномы 499 других видов бактерий, которые исследовал Бен-Якоб, включая патогенные бактерии вроде кишечной палочки *Escherichia coli*, что отражает их «исключительно высокие социальные навыки».

Их социальное поведение проявляется в формировании сложноорганизованных колоний. Бактерии вида *P. vortex* могут образовывать колонии, как, например, на приведенной микрофотографии, которые вырастают за несколько дней в чашке Петри. Колония размером около 8 см в диаметре содержит число бактерий в 100 раз большее, чем количество людей на Земле. Синие точки – плотные группы бактерий (вихревики), которые собираются вокруг общего центра, чтобы лучше закрепиться на твердой поверхности и защитить себя от опасностей. По мере реплицирования клеток каждый завиток расширяется и перемещается в наружном направлении, двигаясь как единое целое и оставляя позади след из старых, нереплицирующихся клеток, которые формируют ветви, поддерживающие коммуникацию внутри всей колонии.

«Действуя коллективно, крошечные организмы могут чувствовать окружающую среду, обрабатывать информацию, решать задачи и принимать решения, как выжить в суровых условиях», – утверждает Бен-Якоб. Так что не стоит недооценивать способности одноклеточных звезд. ■

Перевод: Т.А. Митина

COURTESY OF ESHEL BEN-JACOB, INA BRAINIS AND KINERET BEN KNAAN Tel Aviv University



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В книгах по истории говорится, что в 1911 г. Руаль Амундсен победил Роберта Скотта в гонке к Южному полюсу. Менее известно, что для этого путешествия у Скотта была обширная научная программа, которую он большей частью выполнил. Его экспедиция нашла интересные геологические образцы.
- Одна из наиболее значительных находок Скотта – отпечатки ископаемого растения *Glossopteris*, важное доказательство в пользу теории эволюции Чарлза Дарвина.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ПОХОД

Один из 32 членов экспедиции Скотта в Антарктиде проезжает на собаках мимо массивного ледяного образования под названием «Замок-айсберг» у побережья острова Росса

ОБ АВТОРЕ



Эдвард Ларсон (Edward J. Larson), профессор истории и права в Университете Пеппердайна, автор девяти книг по истории науки. Среди них – *Summer for the Gods* («Лето для богов»), рассказывающая об «Обезьяньем процессе», за которую он получил Пулитцеровскую премию. Его последняя книга, *An Empire of Ice: Scott, Shackleton and the Heroic Age of Antarctic Science* («Империя льда: Скотт, Шеклтон и героическая эпоха антарктической науки»), выходит в этом месяце.

СЛАВА ПЕРВООТКРЫВАТЕЛЕЙ

В гонке к Южному полюсу британский исследователь Роберт Скотт не стал отказываться от своей обширной научной программы

Эдвард Ларсон

Сто лет назад, в июне 1911 г., Роберт Фолкон Скотт (Robert Falcon Scott) и 32 члена его экспедиции – большей частью британские ученые, морские офицеры и матросы – были высажены во тьму антарктической зимы, когда солнце вообще не поднимается над горизонтом, а окружающие морские воды покрывает слой льда толщиной до 2,4 м. Температура на острове Росса, этом самом южном открытом участке суши, куда удалось дойти судну Скотта, может опускаться зимой ниже $-45,5^{\circ}$ С. И здесь часто разыгрываются снежные бури. Не имевшая радиосвязи и полностью отрезанная от внеш-

него мира, экспедиция ожидала наступления более продолжительных и теплых весенних дней (что бывает тут в октябре). Некоторым из ее участников предстояло пройти почти 1448 км через шельфовый ледник, горы и Полярное плато, чтобы достичь места, которое не представляет ни для кого особого интереса, если не считать того обстоятельства, что оно расположено в самой нижней точке Земли.

Покорить Южный полюс ранее уже пытались две британские экспедиции. Одну из них, продолжавшуюся с 1901 по 1904 г., возглавлял тот же Скотт, а руководителем второй экспедиции, в 1907-1909 г., был Эрнест Шеклтон (Ernest Shackleton).

СОРБИС

Обе они окончились неудачей. Впрочем, на этот раз Скотт был уверен в успехе. На основании своего предыдущего опыта он методично спланировал свою новую экспедицию, которая должна была позволить ему не только первым достичь Южного полюса, но и выполнить обширную науч-

ную программу. Он уже подготовил несколько поисковых групп, которым поручалось прочесать бассейн моря Росса для сбора данных наблюдений, окаменелостей и любых других научно значимых объектов. С наступлением весны его собственная группа собиралась мед-

ленно двинуться в южном направлении, установить на полюсе в начале антарктического лета государственный флаг Великобритании, а затем отправиться назад, увенчанная славой покорения Южного полюса и совершенного научного открытия.

В эти долгие зимние месяцы у Скотта было достаточно времени для размышлений над одним важным решением, которое было принято им за четыре месяца до этого, незадолго до наступления зимы. В феврале 1911 г. небольшая группа людей Скотта, пытаясь достичь практически не исследованного полуострова короля Эдуарда VII у восточной окраины шельфового ледника Росса и пройдя примерно 560 км, наткнулась на побережье данного ледника на лагерь других исследователей. Во главе этих девяти человек, прибывших из Норвегии, стоял Руаль Амундсен (Roald Amundsen) – опытный полярник и отличный лыжник, который в 1905 г. стал первым, кто прошел на судне по Северно-Западному проходу через Канадский арктический архипелаг. Хотя предполагалось, что в это время Амундсен направляется к Северному полюсу, более чем в 19 тыс. км отсюда, он тайно переориентировался на Южный полюс в попытке, как решил Скотт, захватить британских исследователей врасплох. Члены экспедиции Амундсена двигались налегке – у них не было никаких научных планов. Используя лыжи и собачьи упряжки, они планировали совершить бросок со своей базы, находившейся на 96 км ближе к полюсу, чем база Скотта на острове Росса. Начавшееся продуманное движение Скотта к полюсу внезапно превратилось в гонку.

Известие вызвало в лагере Скотта состояние некоего кризиса. Некоторые члены экспедиции предлагали отказаться от научных целей и сосредоточиться на этой гонке. По их мнению, если уж дошло до выбора между наукой и полюсом, лучше было отправиться на по-

БОЛЬШЕ ЧЕМ ПОЛЯРНАЯ ГОНКА

Маршрут к Южному полюсу Роберта Скотта (красный) отличается от маршрута Руаля Амундсена (зеленый), достигшего цели первым. Прежде чем полярная группа Скотта отправилась в путь со своей главной базы в Кейп-Эванс, члены его экспедиции месяцами вели геологические и прочие изыскания на острове Росса и в других местах, таких как мыс Крозье и Земля Виктории. Наука была настолько важна для Скотта, что на обратном, гибельном пути, он и члены его группы – Эдгар Эванс, Лоренс Оутс, Генри Бауэрс и Эдвард Уилсон – собрали 15,7 кг окаменелостей и образцов породы





СНИМКИ РАБОТЫ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ

Верхний ряд, слева направо: Скотт, в базовом лагере, делает записи в экспедиционном журнале; Скотт, Бауэрс, Симпсон (George C. Simpson) и Эванс направляются обследовать горную цепь в районе Земли Виктории. **Средний ряд:** императорский пингвин; Бауэрс, Уилсон и Черри-Гаррард готовятся отправиться к мысу Крозье для сбора яиц императорского пингвина; биолог Эдвард Нельсон (Edward W. Nelson) изучает оборудование для добычи образцов морской фауны. **Нижний ряд:** Симпсон ведет наблюдения на метеостанции на мысе Эванс; геолог Дебнем шлифует каменные образцы горных пород

люс. Сам Скотт, однако, думал по-другому. Во время первой его экспедиции в Антарктику был получен большой объем геологических и биологических образцов, метеорологических и магниторазведочных данных, а также океанографических и гляциологических сведений. Он считал науку важной составляющей своей новой экспедиции.

Не предвидя конкуренции, Скотт должен был сделать главную ставку либо на покорение полюса, либо на настойчивое осуществление своего плана. И он предпочел последнее. «Разумнее и корректнее всего для нас будет и далее действовать так, как намечено мною, – буд-то и не было вовсе этого сообщения», – писал Скотт в своем дневнике по поводу обнаружившегося соперничества Амундсена. Он сомневался в том, что ездовые собаки Амундсена смогут выдержать гонку на сотни миль по неизвестной местности, но им это удалось, и у Скотта не было уже никакой надежды опередить их. С исторической точки зрения мы можем быть благодарны Скотту за то, что он не отказался от исследований, поскольку его путешествие к Южному полюсу стало важным вкладом в науку. Однако эта преданность науке дорого обошлась самому Скотту и членам его экспедиции.

Научные изыскания

Склонность к науке была своего рода традицией в ВМС Великобритании – Роберт Скотт, в конце концов, был морским офицером. В состав всех трех британских антарктических экспедиций начала XX в. входили физики, геологи и биологи. Поскольку эволюция была одним из центральных вопросов того периода, ученые уделяли особое внимание ключевому элементу сохранившихся окаменелостей: глоссоптериевой (по названию ископаемого папоротника *Glossopteris*) флоре палеозойской эры. Критики теории эволюции Дарвина указывали на казавшееся внезапным появление этой особой широколиственной флоры в пале-

онтологической летописи Африки, Австралии и Южной Америки, отстаивая креационистскую модель возникновения жизни. В качестве ответа Дарвин выдвинул гипотезу о существовании южнополярного континентального массива, соединявшегося с другими южными континентами, где эволюционировала глоссоптериевая флора. Еще во время первой экспедиции Скотта были найдены угольные пласты, доказывавшие, что некогда в Антарктиде произрастали растения; экспедиция Шеклтона (Ernest H. Shackleton) также обнаружила растительные окаменелости, но среди них не оказалось представителей глоссоптериевой флоры. Теперь Скотт надеялся восполнить этот пробел.

Планом Скотта предусматривалось, что многочисленные вспомогательные группы будут возвращаться назад с разных этапов маршрута, пока не останется лишь одна небольшая основная группа, которая пешим ходом, таща одни сани, отправится к полюсу. Таким образом, как он полагал, удастся создать достаточный запас прочности и, возможно, производить по пути исследование и картографирование местности. В период пребывания в Антарктиде Скотт направил несколько групп исследователей с одной лишь задачей: производить сбор научных материалов. Хотя он вполне мог бы дать указание, чтобы все эти группы прервали свою трудную миссию и сосредоточились на достижении полюса, он предпочел этого не делать. Во время совершения его группой броска к полюсу на главной базе экспедиции оставались офицеры и ученые, которые вели метеорологические и магнитные наблюдения, а матросы и ученые на борту экспедиционного судна занимались океанографическими исследованиями Южного океана. Никаких изменений в этом заведенном порядке из-за обнаружения экспедиции Амундсена не произошло.

В январе 1911 г. первая из таких групп вышла из базового лагеря, ничего не зная о местонахождении

экспедиции Амундсена. Скотт отправил эту группу из десяти человек, разделившуюся на две части, для изучения гор и ледников антарктического материка. Большая из них, обнаружив базу Амундсена, вернулась затем для выполнения нового научного задания – обследовать выходы на поверхность горных пород, а также ледников и заливов вдоль северного побережья горного плато Земля Виктории. Как и планировалось, данная часть группы оставалась здесь всю зиму 1911 г. и не могла способствовать успеху броска к Южному полюсу. В ноябре 1912 г., после неожиданной второй зимовки на плато, эти люди вернулись в базовый лагерь Скотта с массой различных окаменелостей, включая удивительный отпечаток дерева, но без образцов глоссоптериевой флоры.

В феврале и марте 1911 г. меньшая часть этой группы, включавшая геологов Гриффита Тейлора (T. Griffith Taylor) и Фрэнка Дебнема (Frank Debenham), обследовала сухие долины, бесснежные горные вершины и огромные ледники в центре прибрежного района Земли Виктории. Все зимние месяцы, с апреля по октябрь 1911 г., они оставались в главном базовом лагере, разбирая собранные материалы, среди которых было много окаменелостей (но опять ничего похожего на *Glossopteris*). В свой новый, еще более долгий изыскательский поход Тейлор и Дебнем отправились в начале ноября 1911 г., сразу же после выхода Скотта к полюсу. С собой они взяли Трюгве Грана (Tryggve Gran), лучшего лыжника экспедиции Скотта, и младшего офицера Роберта Форда (Robert Forde), который превосходно управлялся с санями и умело преодолевал пересеченную местность. Включение Грана и Форда в изыскательскую, а не в свою собственную группу показывает неизменную приверженность Скотта научным задачам его экспедиции. И это принесло свои плоды: Тейлор и Дебнем обследовали обширную, прежде никем не посе-

РАЗОЧАРОВАНИЕ И СМЕРТЬ

Бауэрс сфотографировал Скотта, Уилсона, Эванса и Оутса после того, как они обнаружили на полюсе норвежский флаг, оставленный там экспедицией Амундсена 29 марта 1912 г. Скотт сделал в экспедиционном журнале эту последнюю запись – вероятно, незадолго до своей смерти:

«Мы будем держаться до конца, хотя, конечно, слабеем, и конец уже близок. Жаль, но не думаю, что смогу еще что-то написать. Ради бога, не оставьте наших близких».

*we shall make it out to the end but we are getting weaker of course and the wind cannot be far, it seems a pity but I do not think I can write more -
Robert
Last entry -
For Gods sake look after our people*



щавшуюся территорию гор и ледников, где собрали множество окаменелостей палеозойской эры (но, увы, снова никаких представителей глоссоптериевой флоры).

Поход к пингуинам

Причиной того, что более всего отвлекло Скотта от завоевания полюса, стало обещание, которое он дал Эдварду Уилсону (Edward A. Wilson) в обмен на его согласие принять участие в последней экспедиции. Уилсон прекрасно проявил себя в качестве зоолога во время первой антарктической экспедиции Скотта, когда на мысе Крозье острова Росса была обнаружена колония императорских пингвинов и Уилсон выяснил, что этот предположительно древний вид пернатых откладывает и высиживает свои яйца в зимний пе-

риод. Скотт пообещал Уилсону, что тот получит возможность вернуться к этой колонии в середине зимы и проверить, имеются ли у эмбрионов этих пингвинов рудименты зубов рептилий. Тем самым Уилсон надеялся доказать, что птицы эволюционировали из рептилий.

В этом походе, совпавшем с периодом планирования и подготовки основного броска к полюсу, должны были участвовать сам Уилсон, помощник зоолога Эпсли Черри-Гаррард (Apsley Cherry-Garrard) и Генри Бауэрс (Henry R. Bowers) – одни из лучших в экспедиции Скотта, которые могли подвергнуться неизвестным опасностям при передвижении с санями в темноте полярной ночи. Группе Уилсона, стартовавшей 27 июня 1911 г., предстояло совершить переход в 112 км через шельфовый ледник Росса. На

двух связанных друг с другом санях длиной по 2,7 м его участники тащили за собой на ремнях 343 кг научного оборудования, теплого полярного снаряжения и продовольственных припасов.

Группа Уилсона двигалась через остров Росса на юг, где температура воздуха часто опускалась ниже -56° C. Труднопроходимая местность, образованная экстремальными холодами, вынуждала людей по очереди тянуть сани – каждый километр пройденного пути стоил трех километров преодоленных препятствий. Через три недели изматывающей буксировки члены группы вышли, наконец, к морене, возвышавшейся над мысом Крозье. Здесь они сложили из камней хижину, в которой надеялись изучить эмбрионы в пингвиных яйцах, прежде чем те затвердеют

от холода. Используя в качестве потолочной балки сани, они натянули поверх четырех каменных стен брезент, забили снегом щели и устроили для тепла печку с горящим жиром. Затем, при тусклом полуденном свете, появлявшемся ежедневно на считанные часы, все трое устремились, преодолевая многочисленные ледяные торосы и глубокие трещины, к колонии пингвинов. Они прибыли на место сразу после наступления привычной темноты. «Нам удалось раздобыть тогда материал, который мог оказаться чрезвычайно важным для науки, – горестно вспоминал Черри-Гаррард. – С каждым сделанным нами наблюдением теория превращалась в факты – нам требовалось буквально еще какое-то мгновение». Они схватили шесть яиц и бросились обратно к своей хижине, рассчитывая вернуться сюда позднее.

Однако этой же ночью разразилась сильная буря. Брезентовая крыша хижины яростно хлопала под штормовыми ударами ветра, пока где-то в полдень, на третий день, не разорвалась в клочья, оставив людей ежиться в их спальных мешках под заносами снега. Когда на следующий день буря окончательно улеглась, Уилсон отказался от борьбы. «Нам пришлось признать свое поражение перед погодой мыса Крозье и перед темнотой», – написал он в своем дневнике. Те несколько пингвиньих яиц, что они добыли, оказались окончательно замороженными и непригодными для исследования.

Обратное путешествие вконец измотало членов группы. Температура вновь опустилась, и спальные мешки уже не спасали от пронизывающего холода. По ночам никто из них не мог нормально спать; Бауэрс и Черри-Гаррард испытывали такую усталость, что погружались в сонное состояние, таща за собой сани. В какой-то момент Бауэрс провалился в глубокую ледниковую трещину и повис в ней на буксировочных ремнях, за которые его смогли оттуда вытащить.

От холода зубы Черри-Гаррарда стучали с такой силой, что даже стали разрушаться. Когда в августе они добрались до главного базового лагеря, из-за намерзавшего инея и конденсата вес спального мешка каждого из них увеличился с 7,7 до 12,2 кг. «Никогда я не видел таких измученных, можно сказать, истрепанных непогодой людей, – писал

Скотт. – Их лица были в рубцах и покрыты морщинами, глаза тусклые, кожа рук побелела и обветрилась от постоянной сырости и холода».

Бауэрс вскоре восстановил силы и снова стал участвовать в походах. В сентябре 1911 г., в качестве последней репетиции перед броском на полюс, Скотт взял с собой Бауэрса и Эдгара Эванса (Edgar Evans) в двухнедельный переход на 280 км для проверки вех, которые были установлены другой группой на ледниках, чтобы измерить их движение. Переход по горам оказался изматывающим. При температуре -40°C участники похода тащили за собой тяжелые сани, и за сутки должны были преодолевать 20 км. «Не вполне понятно, зачем они туда идут», – сделал тогда запись Дебнем. Наиболее вероятным объяснением этого были научные интересы. Еще ранее Скотт написал в своем дневнике: «Состояние дел во всех отношениях вполне удовлетворительное. Если путешествие [к полюсу] завершится успехом, ничто, даже вопрос приоритета в завоевании полюса, не помешает нашей экспедиции считаться одной из наиболее важных среди совершившихся когда-либо в полярные регионы». И наука способствовала бы этому.

Начало путешествия к полюсу

Плохая погода и задержки, вызванные некоторыми дополнительными походами, отсрочили начало путешествия Скотта к полюсу.

К тому времени, когда 1 ноября 1911 г. Скотт наконец стартовал, он уже на 12 дней отставал от Амундсена. «Не знаю, что и думать по поводу шансов Амунд-

сена, – писал Скотт незадолго до отправления в путь. – Я уже очень давно принял решение действовать именно так, как действовал бы, если бы его вообще не существовало. Любая попытка устроить гонку наверняка разрушила бы мой план». Бросок Скотта на полюс был рассчитан на безопасность, а не на скорость. В нем участвовали несколько вспомогательных групп: одна из них использовала гусеничные моторные сани, буксировавшие по шельфовому леднику обычные сани с грузом, тогда как две другие двигались с помощью собак и пони (*Речь идет о низкорослых маньчжурских лошадях, которых члены экспедиции Скотта называли пони. – Прим. пер.*), которые могли бы добраться до гор у ледника Бирдмора и даже подняться на них. По мере продвижения каждой из этих групп нужно было устраивать склады с припасами, которые понадобятся полярной группе на обратном пути, после чего они могли постепенно возвращаться в базовый лагерь. В конце концов должна была остаться последняя группа – она будет тащить за собой единственные сани, пересекая Полярное плато высотой около 3 тыс. м, за которым уже будет Южный полюс. Но процесс движения оказался довольно тягостным, поскольку все сопровождение могло передвигаться не быстрее своей самой медленной части. И этой медленной частью были пони, которые проваливались в мягком снегу по самые крупы и которым требовался специальный фураж, а во время отдыха – особая защита от ветра.

3 января 1912 г. от плато отправилась обратно в базовый лагерь последняя вспомогательная группа. Теперь перед основной полярной группой – в состав которой входили Скотт, Уилсон, Бауэрс, Эванс и капитан Британской армии Лоренс Оутс (Lawrence Oates) – открылось 240-километровое ледовое пространство, где возможность заниматься научными изысканиями едва ли выходила за пределы регулярной регистра-

ции метеорологических показателей и зрительного обзора обдуваемой ветрами поверхности.

Тем временем Амундсен и его люди быстро продвигались вперед. Ездовые собаки хорошо тянули сани, и 14 декабря, после двух месяцев движения к цели, его группа достигла полюса. Дорога назад заняла еще меньше времени. Снежная поверхность была плотной, а путь лежал большей частью под уклон. «Ветер постоянно дул нам в спину, все время светило солнце, и было тепло», – писал Амундсен. По мере того как норвежцы проходили через равномерно распределенные склады с припасами, размеры пищевого рациона людей и собак возрастали. Обрато они вернулись через пять недель. Сам Амундсен даже прибавил в весе.

Скотт прибыл на полюс 17 января 1912 г. и обнаружил там норвежский флаг. «Боже мой, – написал он в своем дневнике, – какое это ужасное место».

Путь назад

Но худшее было впереди. Наступили сильные холода, и снег приобрел структуру песка. День за днем дневники членов группы пополнялись записями с одними и теми же жалобами: сани все время приходится тянуть, скольжения нет, иногда полозья так глубоко проваливаются сквозь сыпучую поверхность, что поперечины саней начинают буквально пропахивать снег. Продовольствия хватало, но питание не было достаточно калорийным для движения в таких условиях.

Люди теряли силы. Эванс повредил себе руку, и его рана загноилась. Оутс страдал от сильного обморожения. Никто этого не диагностировал, но у всех наблюдались очевидные признаки цинги. Тем не менее они находили время для геологических наблюдений. Спускаясь по леднику Бирдмора, они приблизились к морене под горой Бакли. «Морена явно была настолько интересна, что я решил расположиться здесь лагерем и посвятить остаток дня геологическим изыска-

ниям, – сделал Скотт запись в экспедиционном журнале 8 февраля после завтрака. – Мы оказались под отвесными скалами из ортокварцита, которые быстро выветривались, открывая настоящие угольные пласты. В последнем из них Уилсон различил своим острым зрением несколько отпечатков растений, и с краю был кусок угля с красиво расположенными рядами листьев».

Эти растения были похожи на представителей глоссоптериевой флоры. С помощью Бауэrsa Уилсон вырубил из скалы почти 16 кг окаменелостей и образцов породы.

Первыми умерли Эванс и Оутс. После тяжелого, продолжавшегося неделю спуска с ледника Бирдмора, Эванс начал все хуже ориентироваться в пространстве, а потом вдруг потерял сознание и 17 февраля скончался. Состояние Оутса, получившего сильное обморожение обеих ног, ухудшилось до того, что он уже не мог поддерживать прежний темп движения, но не хотел задерживать остальных. Как следует из дневниковых записей Скотта, 16 марта, во время начавшейся снежной бури, Оутс вышел из палатки, сказав: «Решил пройтись и, возможно, меня долго не будет». Обрато он так и не вернулся.

Оставшиеся члены группы двигались вперед до 19 марта. Они бросили все за исключением самых нужных вещей, а также – по просьбе Скотта – личных дневников, полевых записей и геологических образцов. Все это они везли с собой до самого последнего своего лагеря, где жестокая пурга задержала их на восемь дней; от этого лагеря до спасительного склада с припасами оставалось пройти какие-то 17,5 км. Но у них закончились пища и топливо. Умерли они все вместе: по бокам, в позе спящих, лежали Уилсон и Бауэрс, а между ними – Скотт, его спальный мешок наполовину распахнут, одна рука откинута в сторону Уилсона.

Следующей весной поисковая партия нашла их застывшие тела вместе со всеми записями и геологическими образцами. Уилсон, как

выяснилось, был прав в отношении обнаруженных растительных окаменелостей: это действительно оказались долгожданные представители глоссоптериевой флоры. «Те 35 фунтов образцов, что были собраны полярной группой на горе Бакли, – писал Дебнем, – наиболее подходят по своему характеру для устранения издавна существовавшего разногласия между геологами относительно прежнего объединения Антарктиды и Австралии». Неудачный исследователь с безудержным рвением, Уилсон был бы удовлетворен этим. Ведь Дарвин был прав, и он помог это доказать. ■

Перевод: А.Н. Божко

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Last Place on Earth: Scott and Amundsen's Race to the South Pole. Roland Huntford. Modern Library, 1999.
- The Coldest March. Susan Solomon. Yale University Press, 2001.
- The Worst Journey in the World. Apsley Cherry-Garrard. Penguin, 2006. www.gutenberg.org/ebooks/14363
- Scott of the Antarctic. David Crane. Vintage, 2007.
- Robert Falcon Scott Journals: Captain Scott's Last Expedition. Reissued edition. Edited by Max Jones. Oxford University Press, 2008.
- Scott Polar Research Institute: www.spri.cam.ac.uk

Современная сокотрийская семья строит себе новый дом





Эти каменные сокотрийские орудия 1,5 млн лет назад были самым настоящим хайтеком

Владимир Агафонов

СОКОТРА: СУДЬБА ИЗОЛЯТА



Слева направо: мальчик-проводник Абд ар-Рахман из деревни Тарбат, журналист-первооткрыватель Валерий Жуков и питерский археолог Сергей Французов

Сегодня, когда речь заходит о Сокотре, обычно вспоминают о произрастающем здесь дереве драконовой крови, экспедиции, отправленной Александром Македонским за сокотрийским алоэ, птице Феникс или советской военной базе, столь же мифической, как и упомянутая птица

Научные изыскания

Действительно, гигантская сокотрийская древовидная драцена (*Dracaena cinnabari*), произрастающая на горных плато Сокотры, достигающая почти десятиметровой высоты и образующая лес драконовых деревьев в районе плато Диксам, давно стала главным символом острова. С 2000-х гг. изображение «дерева крови двух братьев», как называют этот сокотрийский эндемик арабы, появилось и на монетах Йеменской Республики, самой южной частью которой и стал остров Сокотра. О том, что на Сокотре произрастает лучший в мире алоэ, знал еще Аристотель. Именно он, согласно легенде, посоветовал молодому завоевателю Александру во время персидского похода сначала захватить Сокотру и обеспечить себе и своей армии гарантированные поставки ценнейшего лекарственного средства – высушенного сока сокотрийского алоэ (сабура). В том, что греки не только высаживались, но и остались на острове, авторы арабских географических и навигационных трудов от Абу Зайда ас-Сирафи (начало X в.) до Ахмада Ибн Маджида (XV-XVI вв.) не сомневались. Именно этим они пытались объяснить тот факт, что большинство современного населения Сокотры исповедовало христианство.



Сокотрийское драконово дерево по-научному называется драцена киноварно-красная – за кроваво-красный цвет смолы

АНТРОПОЛОГИЯ



Драконово дерево – местный эндемик, растет оно только на Сокотре (справа внизу)

Действительно, предание приписывает крещение соко-трийцев св. Фоме, который в середине I в. н.э. оказался на острове случайно, когда корабль, на котором он направ-лялся в Индию, потерпел неподалеку кораблекрушение. Из его обломков апостол построил островитянам первую церковь. Удивительно точную оценку острову и его населе-нию дал венецианец Марко Поло: по его свидетельству, со-котрийцы – христиане, подчиняющиеся несторианскому католикусу в Багдаде, но одновременно это лучшие в мире колдуны, которым подвластны многие силы природы. Отделившийся еще 6 млн лет назад от материка мель-чайший осколок Гондваны, в изобилии сохранивший на своей всегда возвышавшейся над водой поверхно-сти причудливые образцы допотопной раститель-ности (37% - эндемики), стал настоящим природным по-дарком для мореходов и купцов. Остров и его мирное на-селение всегда были рады предоставить питьевую воду, мелкий рогатый скот, целебные и благовонные смолы, полезные товары местного производства, прежде все-го сокотрийские шерстяные циновки с традиционным орнаментом, топленое масло и сушеное акулье мясо. Но главное, что давала Сокотра морякам, ходив-шим под парусом вплоть до начала XIX в., - это воз-





1, 2, 4, 6 – чопперы, наиболее распространенные каменные орудия, аналог нынешнего ножа или топора; 3 – скобель, усовершенствованный чоппер; 5 – пик; 7 – скребло; 8 – отщип; 9 – уникальный двухсторонний эргономичный чоппер

Удивительно, но факт: население Сокотры владело когда-то самыми современными технологиями производства. Правда, было это более чем 1,4 млн лет тому назад – в эпоху олдувая

можно дождаться у ее берега попутного юго-западного муссона, который поможет кораблю максимально быстро добраться до Индии. Однако исчезновение мирового рынка благовоний, а потом и появление пароходов сделали некогда «сказочный остров» ненужным и забытым. Такая изоляция позволила Сокотре не только сохранить свою природную, почти инопланетную уникальность, но и скрыть от не слишком еще многочисленных исследователей острова неразгаданные тайны, доступ к которым открывается лишь теперь. Буквально в последнее десятилетие на Сокотре был открыт удивительный пещерный храм (пещера Хок), раскопаны городище и крупная храмовая постройка, относящиеся к раннему Средневековью (городище Хажря вблизи древней столицы Сокотры – селения Сук, или Шек), обнаружены следы большого прибрежного поселения, относящегося к первым векам новой эры (в бухте Шуаб) на юго-западе острова. Наконец, недавно опубликованные результаты генетического исследования происхождения сокотрийцев, которые проводились под руководством Виктора Черны (Viktor Cerny) в 2008 г., не только свидетельствуют об их родстве с близкими им по языку махрийцами в Йемене и жителями Дофара в Омане (их бесписьменные живые языки относят к числу древнейших семитских языков афразийской языковой семьи), но и утверждают, что нынешнее коренное насе-

До 1967 г. Сокотра была британской территорией. В 1950-1960-х гг. ее исследовал доктор Брайан Доу (Brian D. Doe), но обнаружил и описал он далеко не все. Поэтому главная заслуга в открытии и изучении памятников каменного века на юге Йемена (еще в НДРГ) принадлежит члену-корреспонденту РАН, главному российскому специалисту по каменному веку Х.А. Амирханову



Коренная сокотрийка Бакеля Нох Кешен. Редкое фото: заснять сокотрийскую женщину, не закутанную с ног до головы в черное, сейчас почти невозможно (вверху).

В древних египетских свитках Сокотра называлась «островом блаженства» (внизу)



Аравийское море



Остров Сокотра – самый крупный остров архипелага Сокотра (ЙР).

Архипелаг Сокотра входит в состав провинции Хадрамаут, составляя две ее мудирии (района): мудирию Хадибу и мудирию Калансия и Абд-эль-Кури.

Самый крупный город острова и его историческая и культурная столица – город Хадибу. Второй по значению – город-порт Калансия. Третий город – Кадуб.

Древняя столица – Сук (по сокотрийски – Шек)



Для того чтобы попасть на остров, нашим предкам 1,5 млн лет назад надо было проплыть около 200 км. Вопрос – на чем и зачем?

Владимир Агафонов (в центре) разговаривает с аборигеном (слева)

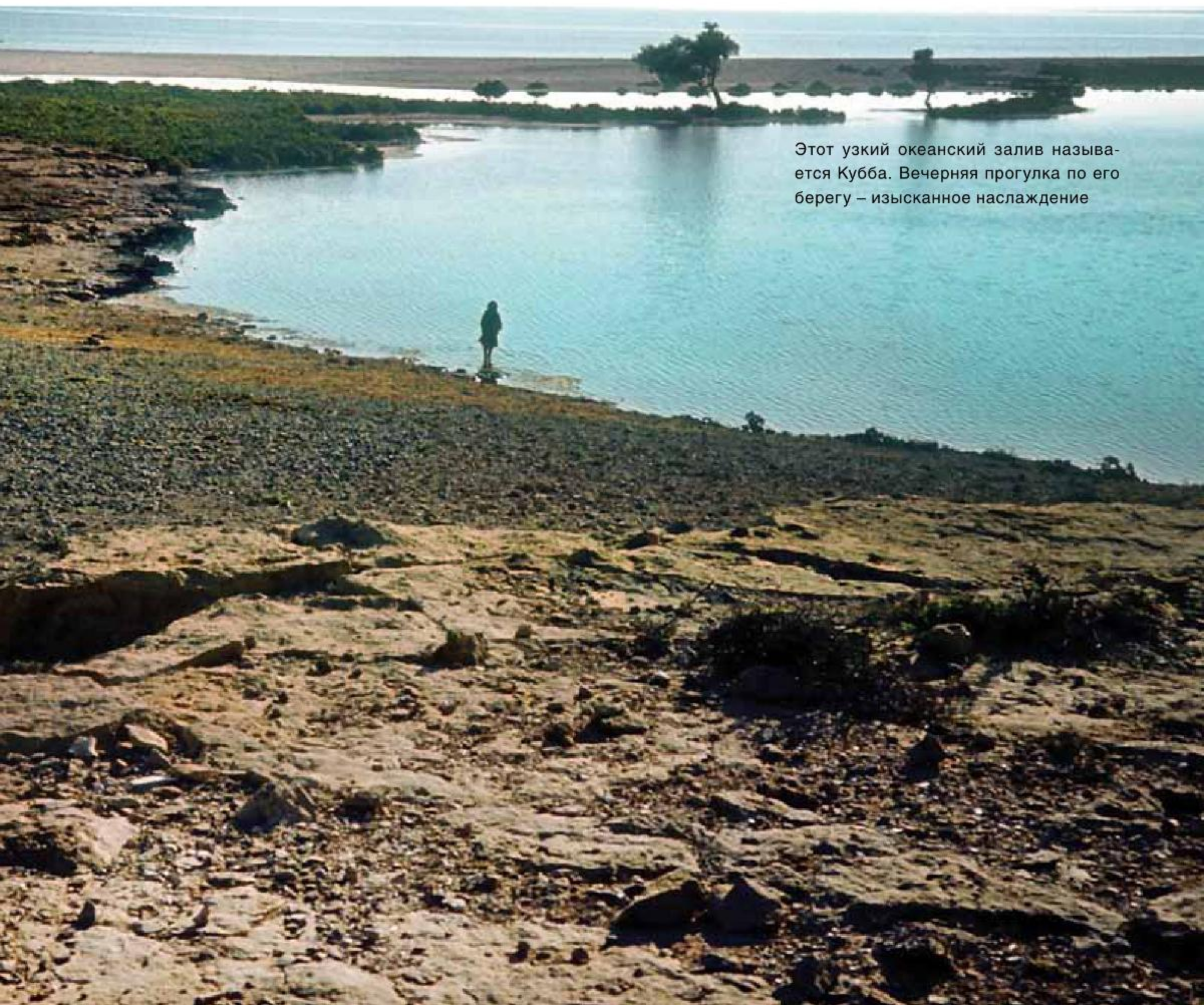
ление Сокотры постоянно проживает на этом острове не менее чем 6 тыс. лет, будучи, по сути, автохтонным. И все же предки современных сокотрийцев были не первыми, кто заселил Сокотру.

О тех, кто в море

Совсем недавно, в конце 2008 г., было сделано еще одно открытие, которое могло претендовать на археологическую сенсацию: на Сокотре были обнаружены тысячи древнейших каменных орудий, относящихся к олдувайской культуре (1,5-1 млн лет назад). Могло бы претендовать, если бы не коварный вопрос, на который нет еще вразумительного ответа: означают ли эти находки, что *Homo habilis* («человек умелый») со своими орудиями – чопперами, конусами и отщепами – и еще не «современным» видом был уже и *Homo nauticus* («человек

мореплавающий»)? Мог ли он выдалбливать лодки или вязать плоты для того, чтобы потом покрывать на них сотни километров океанской глади? Иначе как ему удалось попасть на остров, отделившийся от Восточной Африки, родины олдувая, много миллионов лет назад?

Сокотра считалась заселенной довольно поздно и, естественно, после начала мореплавания в регионе, несколько тысяч лет назад. Люди выращивали здесь целебный алоэ и добывали ладан. Никто из археологов о поиске на острове каменных орудий и не думал. Поэтому у В.А. Жукова, который был там по приглашению, оказался абсолютный приоритет палеоархеолога-первооткрывателя, подтвержденный в 2009 г. самим Х.А. Амирхановым



Этот узкий океанский залив называется Кубба. Вечерняя прогулка по его берегу – изысканное наслаждение

Российские археологи в ходе раскопок сезона 2008 г. в рамках Российской комплексной экспедиции в Республике Йемен (РКЭЙР) открыли на острове Сокотра остатки культуры самой ранней эпохи истории человечества – олдувая (олдована). Об этом говорится в статьях «Эпоха олдована открыта на острове Сокотра» в журнале «Природа», № 7, 2009 и «Земля царицы Савской» в журнале «Наука в России», № 5, 2009. Этому же был посвящен доклад ведущего отечественного специалиста по археологии каменного века Южной Аравии Х.А. Амирханова «Открытие индустрии олдована на острове Сокотра», сделанный им в ходе Международного симпозиума «Древнейшие миграции человека в Евразии» в Махачкале в сентябре прошлого года.

Современная наука относит хронологические рамки олдувая для территории Африки и Ближнего Востока

на 2,5-1,4 млн лет назад – в эпоху самого начала палеолита, причем артефакты олдувайского периода находят за пределами Африканского континента крайне редко, не говоря про островные местонахождения.

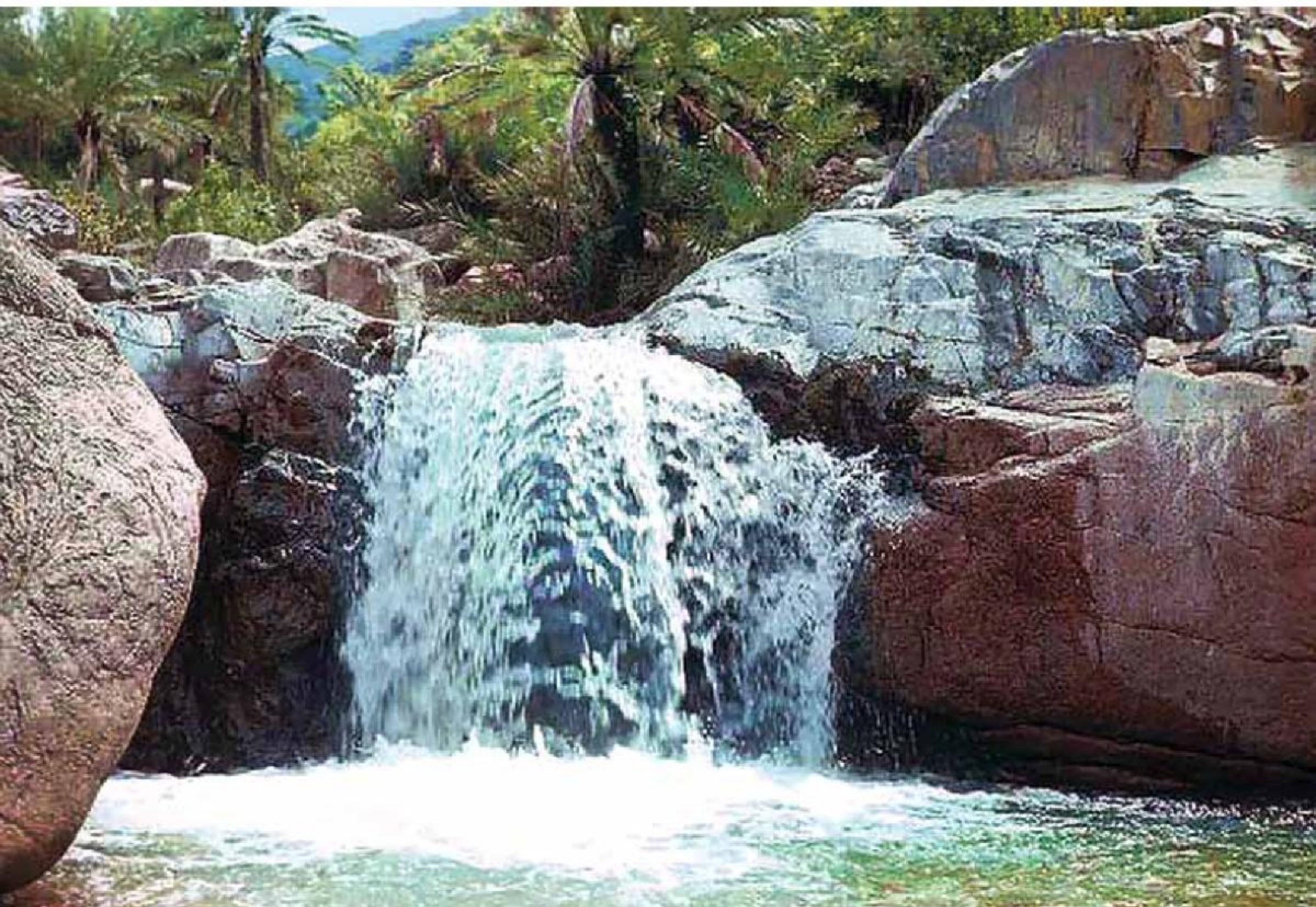
Но первым, кто обнаружил на Сокотре древнейшие каменные орудия, был не ученый-археолог, а корреспондент ИТАР-ТАСС В.А. Жуков. В сезон 2008 г. (12-28 ноября 2008 г.) он был на острове в составе российской археологической экспедиции под руководством профессора В.В. Наумкина (ИВР РАН). Однако найденные им к востоку и к западу от главного города Сокотры Хадибу каменные орудия не имели требуемой геолого-стратиграфической привязки – и потребовалась новая экспедиция Амирханова и Наумкина на Сокотру, которая состоялась в феврале 2009 г.. В результа-

АНТРОПОЛОГИЯ

Эти горы не только похожи на каменного дракона, они так и называются (*слева*).
Из «драконовой крови», смолы драконова дерева, сейчас производят великолепный лак, а раньше делали прекрасный ладан (*фото справа*)



Сокотрийские горные водопады снабжают аборигенов чистой питьевой водой (*внизу*)



ОБ АВТОРЕ

Владимир Михайлович Агафонов, востоковед-арабист, полевой исследователь языка и фольклора сокотрийцев. В 1971 г. поступил в Военный институт иностранных языков, работал переводчиком в Египте (1973-1974), Южном (1976-1980) и объединенном Йемене (1990-1991). Во время командировки в НДРЙ часто бывал и некоторое время работал переводчиком на острове Сокотра. Занимался сбором языковых и фольклорных материалов на диалектах бесписьменного языка сокотрийцев. В 1990-2000-х гг. опубликовал ряд сокотрийских фольклорных текстов, а также свои авторские литературные пересказы сказок Сокотры на русском языке в изданиях для детей. Принимал участие в создании телесериала «Русский перевод» (2006) и документального фильма «Сокотра: неизвестная сказка» (2009).



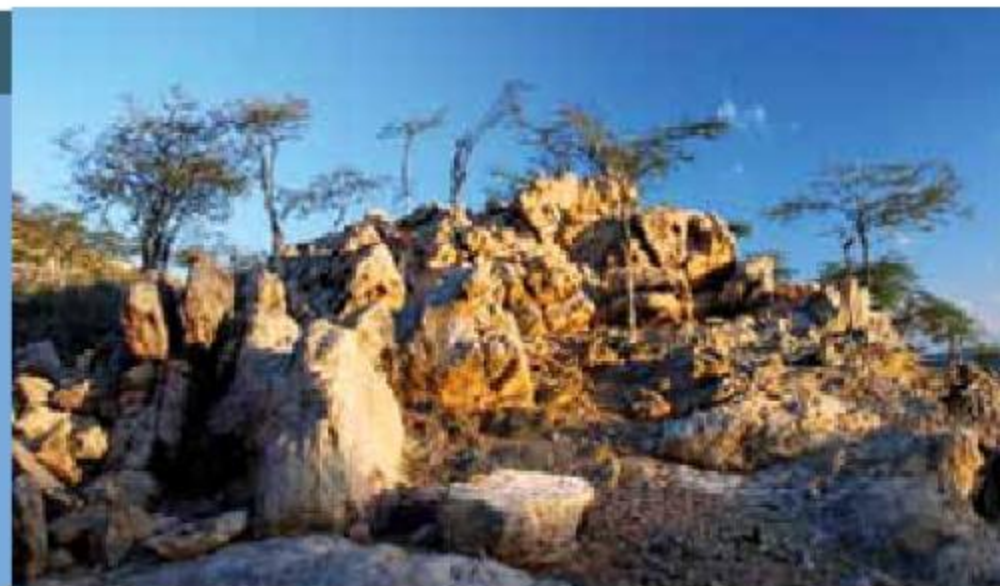
те, хоть это и казалось невероятным, в устьях трех основных вади (периодически высыхающих рек) в долине Хадибу – Хажря, Денегхан и Хадибу – были обнаружены следы десятков, если не сотен доисторических стоянок, точечных скоплений каменных орудий – чопперов (рубящее орудие из галечника) и пиков.

Из-за ограниченности во времени исследователи сосредоточили свои усилия на близлежащих стоянках в вади Хажря к югу от селения Сук (средневековой «столицы» Сокотры). Материал, полученный здесь уже в условиях надлежащей геолого-стратиграфической привязки, оказался достаточно красноречивым для уверенной датировки.

Поскольку совершенно точно известно, что подобный тип древнейших технологий обработки камня мог проникнуть на Сокотру только через Африканский Рог и только из Восточной Африки (при этом любые другие пути проникновения исключены), а внешний вид найденных орудий вполне соответствует известным африканским технико-типологическим характеристикам, то вполне можно утверждать, что и древнейшая человеческая культура такого типа могла попасть на Сокотру никак не позднее, чем 1,4 млн лет назад. Причем если как раз в тот период в Северо-Восточной Африке олдувайская технология сменилась более прогрессивной ашельской, то на Сокотре орудия ашельского типа до настоящего времени не найдены, т. е. инновации до них уже не дошли.

Впрочем, из предъявленной палеоантропологической сенсации авторы открытия делают грустный вывод: поскольку развития каменной индустрии на острове, похоже, не произошло, то и сама олдувайская популяция, сумевшая, возможно, первой в истории человечества одолеть несколько сотен километров океанского пути, на Сокотре исчезла, не оставив своего продолжения. ■

В районе Диксам сокотрийская драцена образует целый лес (справа сверху).
На Сокотре драконовы деревья растут везде (справа внизу).
Плотность населения на острове – десять человек на квадратный километр (слева внизу)





ШПИОНЫ ВНУТРИ НАС

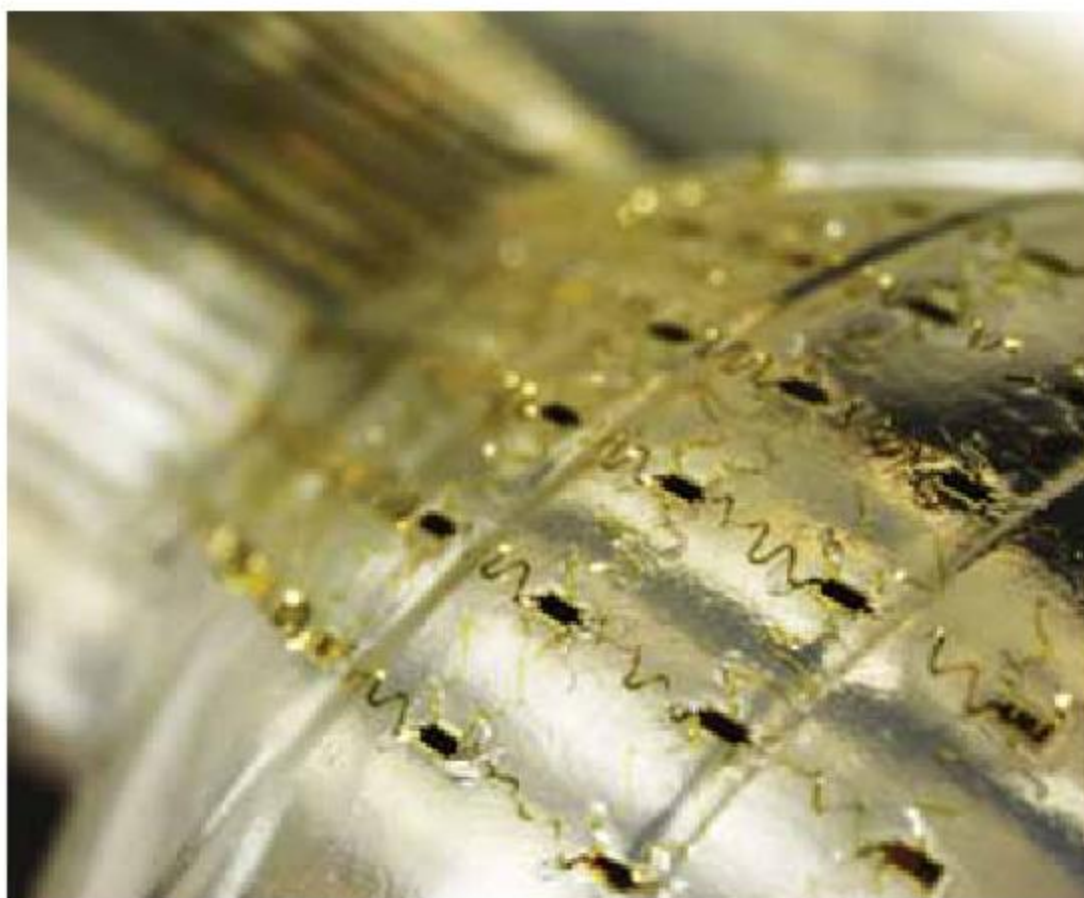
Электроды нового поколения настолько малы и гибки, что их можно вводить в сердце или в мозг

Электричество управляет многими процессами в организме человека – вспомните про возбуждение нервных клеток или сердечный ритм. Однако до последнего времени электроды, применяемые в медицине для контроля электрической активности организма и управления ею, были биологически несовместимыми: жесткими, крупными и нестойкими к воздействию жидкостей.

Сегодня ученые задают новые стандарты, конструируя гибкие, эластичные и водостойкие электроды, имитирующие свойства тканей организма человека. Они обеспечивают более естественный и легкий контроль над электрическими процессами в организме и управление ими. Материаловед Джон Роджерс (John A. Rogers) из Иллинойского университета в Эрбанае и Шампейне разработал метод получения тончайших «срезов» кремниевых пластин и светодиодов при помощи химического травления. Чтобы сделать эти срезы эластичными и гибкими, он придал им волнообразную форму и прикрепил к резиновым подложкам, а затем заключил их в полимер для обеспечения водостойкости. Изготовленными таким способом электродами «можно обертывать ткани почти так же, как пленкой для упаковки пищевых продуктов», говорит Роджерс.

Недавно он применил свой метод для создания средства от фибрилляции предсердий – рода арит-

мии, которым страдают миллионы американцев. Результаты его исследований были опубликованы в мартовском номере журнала *Nature Materials* (он издается группой *Nature Publishing Group*, в состав которой также входит журнал *Scientific American*). Для выявления очагов возбуждения врачи



Поверхность одного из многофункциональных надувных катетеров Роджерса, покрытая электродами

применяют катетерную абляцию – вводят в вену катетер с электродом и проводят его до сердца. Вся эта процедура может занимать до часа. Затем с помощью другого катетера они «гасят» аритмию, выжигая неправильно работающую ткань.

«Эта процедура длительна, не очень точна и требует от хирурга специальных навыков», – говорит Роджерс. Он нашел более простое решение: покрытый эластичными электродами надувной катетер,

который можно ввести через вену в ногу или грудной клетке, продвигнуть внутрь сердца и там надуть. Он будет одновременно фиксировать значение электрических параметров в десятках точек, контролировать кровоток и температуру тела. Последние модели надувных катетеров Роджерса могут даже оказывать лечебное воздействие, удаляя больные ткани. «Возможность одновременных измерений с использованием множества электродов станет несомненным преимуществом, – говорит кардиолог Мэтью Рейнолдс (Matthew Reynolds), заместитель директора Бостонского центра здравоохранения по физиологии. – А если удастся

осуществить еще и измерение других параметров, это будет просто замечательно». Роджерс и его коллеги, только что основавшие компанию по коммерциализации созданной технологии, планируют начать клинические испытания не позднее, чем через девять месяцев.

Роджерс обратил внимание и на другие области медицины. В работе, только что направленной им в печать, он описал использование пластиковых «оберточных» листов с электродами для

определения участков мозга, ответственных за тяжелые эпилептические припадки. Он получал данные от обширных участков поверхности мозга в реальном времени, причем с более высокой чувствительностью, чем позволяют используемые в настоящее время методы. Кроме того Роджерс работает над созданием внешних (накожных) устройств для контроля температуры, пульса и степени насыщения крови кислородом у спортсменов и военных. Он надеется, что они будут настолько удобны в применении, что человек будет ощущать их как вторую кожу. ■

Мелинда Уэннер Мойер



ПЕВЕЦ МАТЕРИИ

Научно подкованный художник рассказывает о «клонировании» древних ледников

Еще будучи юным подмастерьем скульптора, я вдруг понял, что не хочу следовать проторенным путем, воплощая в жизнь объекты, которые в лучшем случае рождены моим воображением. Быть может, это звучит наивно, но я предположил, что погрузившись в физику, астрономию, космологию и неврологию, смогу вырваться за рамки существующих ограничений и стать пионером гораздо более широкого творческого направления.

В последнее время я создаю поэмы из материи и энергии. Некоторые из них представляют собой небольшие экзотические проекты, на первый взгляд неосуществимые. Я создал инсталляцию, в которой используется явление сонолюми-

несценции, где звуковые волны очень высокого давления в жидкости порождают крошечные источники электромагнитной энергии. Установка преобразует набираемый на клавиатуре текст в синтезированную речь с интенсивностью звука, достаточной для того, чтобы породить и удерживать крошечный пузырек в центре емкости с водой. Звук заставляет этот пузырек смыкаться и вновь формироваться 50 тыс. раз в секунду. И хотя данный процесс не до конца понят, смыкание пузырька создает яркую светящуюся точку. Это звезда в сосуде, создаваемая произнесенным словом.

Я работаю над очень большой инсталляцией, которая будет размещена перед входом в Музей Севера Университета штата Аляска в Фэрбенксе. Источником вдохновения стало старое изречение, что нет двух похожих снежинок. Причина такой несхожести в том, что форма каждой из них – точное отражение истории ее формирования на атомном уровне, история ее падения.

Сказанное справедливо и для древних кристаллов льда. Но с помощью некоторых геофизиков из

Университета штата Аляска в Фэрбенксе я разработал процесс «клонирования» фрагментов кернов, добытых из ледников, возраст которых исчисляется миллионами лет. Мы изготовили тонкие клиновидные контейнеры площадью около 0,2 кв. м и заполнили их водой сверхвысокой очистки. Вода оставалась жидкой даже при температуре -40° по Фаренгейту ($-4,44^{\circ}$ C), потому что в ней не было центров кристаллизации. Брошенный в нее кусочек древнего льда оказывался таким центром, и вода мгновенно организовывалась, воспроизводя доисторическую структуру. Поверхность каждого контейнера покрыта пленкой, поляризующей свет. В сочетании с формой контейнера получается необычный эффект: структура клонированного ледяного фрагмента выглядит как сложная цветовая картина, подобная голограмме. Если учесть скорость, с которой происходит таяние ледников, вскоре нам будет доступно только их клонирование, несмотря на то что это одно из самых прекрасных зрелищ на свете. ■

Беседовал Уэйт Гиббс

ПРОФИЛЬ

Имя

Шон Брикси (Shawn Brixey)

Должность

Художественный руководитель Центра цифровых искусств и экспериментальных сред Вашингтонского университета

Страна

США (г. Сиэтл)



ДАВАЙТЕ ДЕЙСТВОВАТЬ!

Руководитель Управления перспективных исследований в области энергетики (*Advanced Research Projects Agency-Energy, ARPA-e*), правительственной организации по освоению альтернативных источников энергии говорит о микробах – производителях топлива, очередной промышленной революции и о том, как скоро его весьма рискованный проект может выйти на промышленный уровень.

– Какова задача ARPA-e?

– Мудрые руководители, создавшие управление, обнаружили, что на данный момент не существует организации, способной стать полигоном для испытания новых рискованных идей. Именно для такой работы было создано ARPA-e.

Так давайте же действовать, черт возьми! Если в основе очередной промышленной революции лежит энергетика, а США в обстановке острой глобальной конкуренции претендуют на лидирующие позиции в этой области, ARPA-e поможет найти быстрый путь превращения достижений науки в технологии.

– Какие проекты финансирует ARPA-e?

– Ученые из Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли делают успехи в области электротоплива (использования микроорганизмов для превращения углекислого газа в жидкое топливо, подобное бензину). Они разработали новый дешевый катализатор и сумели прикрепить его к микроорганизмам. Предполагается, что в результате будет получен водород, который микробы станут потреблять для выработки электротоплива. Я не думаю, что исследователи имеют представление о том, будет ли катализатор, прикрепленный к микробам, работать, но нужно просто попробовать. Возможно, это пустышка, но есть и более многообещающие проекты.



ПРОФИЛЬ

Имя

Арун Маджумдар (Arun Majumdar)

Должность

Директор ARPA-e

Страна

США (г. Вашингтон)

– **В число исследований с высокой степенью риска входят усовершенствованные аккумуляторные батареи для электромобилей, более дешевые солнечные элементы и силовая электроника (сверхвысокоэффективные преобразователи электроэнергии). Когда эти проекты начнут давать отдачу?**

– По моей самой оптимистичной оценке, такие продукты попадут в руки потребителей или начнут внедряться в инфраструктуру энергетики лет через десять. Но посмотрите, сколько времени потребовалось с 1968 г., чтобы возник Интернет, и с конца 1980-х гг., чтобы возникла ARPAnet. Таков масштаб

времени, на который мы должны ориентироваться.

– Какие программы могут дать результаты раньше всего?

– Исследования электротоплива находятся еще в начальной стадии, и я не думаю, что результатов можно ждать скоро. Возможно, это будет силовая электроника.

– Как вы решаете, когда считать, что тот или иной проект потерпел неудачу?

– Обычно тогда, когда не происходит достижения запланированных промежуточных результатов даже после продления сроков на два-три месяца. Но мы и после этого даем еще некоторое время, а не закрываем проект сразу.

Все-таки наша основная цель – помочь исследователям достичь этих промежуточных рубежей и двигаться дальше. Мы говорим своим людям: смотрите, если что-то не работает, и вы готовы закрыть проект, не торопитесь – придите к нам, и мы постараемся поддержать вас. ■

Беседавал Дэвид Биелло



МУСОРЩИКИ-МАЛЮТКИ

Возможно, что избавление океана от пластиковых отходов – заслуга микробов

Известно, что в акватории Мирового океана существуют по крайней мере две области – в северной части Тихого и Атлантического океанов, где на поверхности собираются мелкие, размером с конфетти, агломерации кусочков мусора. Это остатки пластиковых бутылок, пакетов, одноразовых чашек и разных других отходов, выброшенных с проходящих там судов.

В прошлом году группа исследователей опубликовала в *Science* итог 22 лет наблюдений за пластиковым мусором в Северо-Западной Атлантике. Результаты оказались неожиданными: несмотря на то что производство пластмассовых изделий выросло с 75 млн т до 235 млн т, количество пластиковых «конфетти» в океане не увеличилось. Куда же девается весь этот мусор?

Новые исследования показывают, что на нем пируют морские микроорганизмы. В ходе недавней экспедиции в Саргассово море в Северной Атлантике ученые из Морской образовательной ассоциации (SEA) Института океанографии Вудс-Хоула собрали многочисленные образцы пластиковых остатков. Для невооруженного глаза они выглядели гладкими и чистыми. Однако когда их поместили под электронный микроскоп глазам ученых открылся другой мир. «Мы увидели, что эти кусочки просто кишат микроорганизмами, – говорит сотрудник института Трейси Минцер (Tracy Mincer). – Более того, мы наблюдали, что они просто вбуравливаются в поверхность пластика, оставляя на ней глубокие следы вдвое больше своего диаметра. Это выглядело так, как если бы горячим угольком плавить лед». Минцер и его коллеги представили результаты своих наблюдений на V Международной конференции по морскому мусору.

Минцер предупредил, что это предварительные результаты наблюдений, но если они будут затем подтверждены, то станут первым свидетельством, показывающим, что морские микроорганизмы способны разлагать пластиковые отходы в море. Так или иначе, наблюдения Минцера показали, что микробы способны к биологическому разрушению пластика не только во влажной, теплой, богатой питательными веществами среде мусорных свалок. Ранее считалось, что океанические просторы – не самое

благоприятное место для биологического разложения пластиковых элементов мусора. «В Саргассовом море температура воды низка, турбулентность наоборот высока, питательных веществ мало, – говорит Кара Лавендер Лоу (Kara Lavender Law) из SEA, – поэтому новые исследования очень важны. Если мы поймем, как происходит разложение пластика на отдельные молекулы в морской воде, это будет открытие первостепенной важности» – заключает она. ■

Аманда Роуз Мартинес





ЧТО ЭТО?

Этот на вид мягкий и рыхлый материал на самом деле – твердое вещество. Норман Баркер (Norman Barker), адъюнкт-профессор патологии и искусства в применении к медицине из Университета Джонса Хопкинса, сделал снимок участка бедренной кости женщины 40-50 лет, страдающей остеопорозом. Губчатое вещество кости представляет собой сеть соединенных друг с другом спикул, образующих внутреннюю сторону самого плотного наружного слоя кости. Губчатые кости образуют ячеистую сеть, в которой растут клетки костного мозга и запасаются необходимые организму минералы. «При остеопорозе расстояние между спикулами значительно увеличивается, что и ведет затем к перелому кости», – говорит Баркер. Для создания объемного изображения кости, пораженной остеопорозом, он использовал новое программное обеспечение. «Еще года два назад было невозможно представить себе получение картинки такого качества», – отмечает исследователь.

Энн Чин



Познавательный журнал для хороших людей

Выходит 6 раз в год

Читайте в № 38 (2), 2011 г.:

ПОВЕСТКА ДНЯ НА XXI ВЕК

Академик В. А. Коптюг: «Потеря научных школ и высоко квалифицированных технических и технологических кадров отбросит нашу страну надолго, а может быть навсегда, на задворки мировой цивилизации»

СИБИРСКИЙ ЦЕНТР ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ – ТРИ ГОДА СПУСТЯ

Уникальный для России центр генетических коллекций лабораторных животных позволит проводить исследования фундаментальных основ здоровья человека, используя мировое богатство живых генетических «моделей»

ЗА ПЕРЕВАЛОМ САЙЛЮГЕМ...

Лучшим полигоном для тестирования геофизических методов являются... археологические раскопки, где любой прогноз проверяется в течение одного полевого сезона

ИСТОРИЯ, ВЫШИТАЯ ШЕРСТЬЮ

Фрагменты вышитых ковров-драпировок, чудом сохранившиеся в могильнике хунну в Северной Монголии, стали своего рода «книгой в картинках», повествующей о связях между древними народами и цивилизациями

ПОДПИСКА на 2011 г.

«Роспечать», индексы **46495** и **46498**;
«Пресса России», индекс **42272**

Приобрести журнал можно в редакции: zakaz@info-press.ru
www.sciencefirsthand.ru, www.sibsciencenews.org

АВГУСТ 1961



ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИМЕРОВ. «Семь лет прошло с тех пор, как в нашей лаборатории в Миланском политехническом университете были обнаружены стереоспецифические каталитические процессы, в результате которых по-

лучаются стереорегулярные полимеры из простых асимметричных молекул углеводорода, таких как пропилен. Методы производства новых стереорегулярных полипропиленов, разработанные как нами, так и другими исследователями, были внедрены в крупномасштабное производство в США с начала этого года, после завершения в прошлом году строительства трех больших предприятий. В прошлом году наша лаборатория сделала еще один успешный шаг вперед в разработке стереоспецифических методов полимеризации, и мы предполагаем, что множество стереорегулярных полимеров могут найти практическое применение уже в ближайшие годы». – Джулио Натта (Giulio Natta).
Примечание: Джулио Натта в 1963 г. стал одним из лауреатов Нобелевской премии по химии; открытые им молекулы используются в качестве катализаторов в коммерческом производстве пластмасс и резиновых изделий.

АВГУСТ 1911



МИЛЛИОН ПРЕКРАСНЫХ ИДЕЙ. Без помпы и церемоний прошло событие величайшей важности: во вторник, 8 августа 1911 г., был выдан миллионный патент. Колесо фортуны, которое выбирало получателя этого эпохального документа, вознаградило того, кому посчастливилось оказаться на его вершине, когда машина нумерации прошла отметку 999 999: Фрэнка Хэлтона (Frank H. Halton) из Кливленда, штат Огайо, который просил исключительных прав на производство и продажу усовершенствованных надутых автомобильных шин. Примечательно, что миллионный патент, сам по себе памятник прогрессу, был присужден изобретению, призванному усовершенствовать такой же символ прогресса – автомобиль.

ВОДА И МОЩЬ. Недавно законченная плотина Рузвельта в южной Аризоне потребовала более чем 350 тыс. кубических ярдов каменной кладки и формирует самый большой из ныне существующих искусственный резервуар. Его возведение потребовало почти \$300 тыс. на дорожное строительство, чтобы сделать регион доступным и заменить общественные дороги, затопленные искусственным озером.

ОПИЙНЫЕ ПОТЕРИ. Некоторые неожиданные результаты принесло движения против производства опиума

ма в Китае. В провинции Юньнань, одной из тех, где зелье производилось в больших количествах, вследствие недавних мер мак больше не выращивается. Однако это повлекло за собой катастрофические последствия для пчеловодства. Поскольку пчелы не находят больше цветов, производство меда остановлено. Новые зерновые культуры, которые заменяют мак, такие как пшеница или горох, не способствуют получению хорошего урожая меда. При этом оказалось, что привычка населения к употреблению опиума не ликвидирована существующим законодательством и после некоторого спада вновь начала расти.

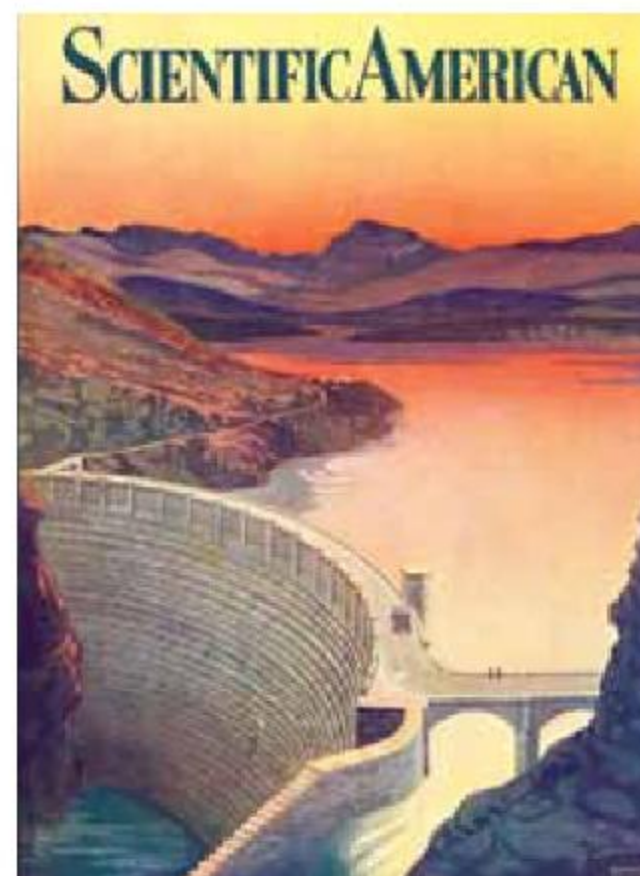
АВГУСТ 1861



ВОДОПРОВОД. Нет более важной проблемы, особенно в городах, обладающих бесценным достоянием – водопроводной станцией, чем коррозия свинца в водопроводных трубах. Соли свинца чрезвычайно ядовиты и, как все «металлические» яды, накапливаются в системе. Мы уже давно расценили нерастворимые в воде соли свинца как не полностью отвечающие правилам безопасности при использовании свинцовых труб для подачи воды. Когда вода прокачивается с большой скоростью при высоком давлении через трубу, мелкие частицы вещества могут отделяться и смешиваться с водой, таким образом попадая в систему.

ГРАЖДАНСКАЯ ВОЙНА НА МОРЕ. Шхуна S.J. Waring, которая была захвачена капером Джеффом Дэвисом (Jeff Davis), прибывшим в порт в воскресенье, 21 июля, была отбита обратно темнокожим стюардом при помощи одного из моряков. Когда судно было захвачено, капитан и помощник были сняты с борта, но цветного стюарда, двух из моряков и пассажира оставили. Стюард нечаянно услышал беседу, из которой узнал о намерении обладателя «приза», капитана Амила (Amiel), продать его в рабство, как только шхуна прибывает в Чарльстон, и решил предпринять отчаянную попытку вернуть судно. Имя стюарда – Уильям Тиллмен (William Tillman).■

Плотина Рузвельта построена, чтобы сохранять воду, предотвращать наводнения и обеспечивать население страны электричеством, 1911 г.



Верьте мне!

Почему многие люди не доверят тому, что говорят ученые

Дэниел Уиллингем



Один мой друг долго пребывал в уверенности, что причиной аутизма, которым страдает его сын, стала прививка, сделанная в детстве. Он цеплялся за это убеждение, несмотря на ряд научных статей, доказывающих, что вакцины и аутизм никак не связаны. Когда недавно было доказано, что первоначальная статья – фальшивка, мой друг отреагировал заявлением, что теперь доказывать опасность вакцинации будет труднее. Он не одинок: примерно половина американцев убеждены или допускают, что связь между аутизмом и прививками существует.

Однако парадокс глубже. Мой друг утверждает, что доверяет ученым, – и в этом отношении он тоже подобен большинству американцев. В ходе опроса, проведенного в 2008 г. Американским научным фондом, большинство респондентов готовы выразить свое доверие скорее представителям науки, чем лидерам любых других организаций, за исключением военных. Так почему же люди говорят, что доверяют ученым вообще, но расходятся с ними в конкретных случаях?

Многие винят в этом низкое качество образования США. Мол, если бы в школе дети получали больше знаний, они научились бы ценить мнение ученых о вакцинах, климате, эволюции и других политизированных вопросах. Но это заблуждение. Хорошо образованные люди доверяют ученым почти так же, как все остальные. Наука, на которую опираются многие стратегии, высоко специализирована, и оценка ее достижений требует более глубоких познаний, чем те, которые заложены в образовательные программы начальной и средней школы. Более действенным подходом стала бы попытка продемонстрировать людям, почему они питают доверие к недостоверным фактам.

Люди и впрямь больше всего ценят достоверность. Мы хотим, чтобы наши убеждения были верными, чтобы они соответствовали реальному положению вещей в мире,

и мы знаем, что наука – это надежный проводник к истине. Но такое стремление противоречит другим мотивам, часто неосознанным. Некоторые, например, убеждены, что защищают важные ценности. Так, те, кто воспринимает мир как божественное творение, могут считать генетическую модификацию недопустимой с моральной точки зрения независимо от ее безопасности или полезности. Многие убеждения людей коренятся в их эмоциях. Пандемия гриппа, способная погубить множество невинных, может вызывать чувство страха и беспомощности. Один из способов избавиться от переживаний состоит в том, чтобы не верить в возможность такой пандемии.

В попытках примирить рациональные и иррациональные причины наших убеждений мы очень ловко обманываем самих себя. Стремясь быть рациональными, мы находим аргументы в пользу того, что наши убеждения истинны. Одного-двух инакомыслящих достаточно, чтобы убедить нас, что наука «противоречива» или «еще не установилась». Если бы люди узнали, что именно может повлиять на их убеждения, большинство, вероятно, постарались бы встать на защиту науки.

Увеличивать объем научных дисциплин в школе, чтобы ученики могли ответить на любые вопросы, бессмысленно. Преподаватели могли бы научить детей способам оценки достоверности научных знаний. Изучение истории науки помогло бы ученикам понять как мотивацию собственных убеждений, так и науку как метод познания. Если школьник осознает, почему господствовавшее в Средние века мировоззрение сформировало убеждение в правильности геоцентрической концепции Солнечной системы, ему останется один шаг до того, чтобы увидеть подобные влияния на него самого.

Изучение истории науки может помочь ученикам понять и то, как научное знание становится все более точным. Человеку, далекому



ОБ АВТОРЕ

Дэниел Уиллингем (Daniel Willingham) – профессор психологии в Университете штата Виргиния и автор книги «Почему ученики не любят школу?» (*Why Don't Students Like School?*).

от науки, легко отмахнуться от не устраивающих его научных выводов как противоречивых, сославшись на то, что ученые меняют свои мнения: «Сначала они говорили, что шоколад вреден, теперь – что полезен! Не могут определить!» Однако, узнавая, как все новые данные ведут к пересмотру важных теорий, ученики начинают понимать, что наука – это не какие-то неизменные законы, а временные объяснения, которые подлежат пересмотру с появлением лучших. Они увидят также, что готовность ученых менять свои убеждения для приведения их в соответствие с новыми данными – источник огромной силы науки, а не ее слабости, и поймут, почему так впечатляет почти полное согласие по таким вопросам, как глобальное потепление или безопасность вакцинации. Наука может быть не единственным способом организации и осмысления нашего опыта, но по достоверности она намного превосходит религию, политику и искусство. Таков урок. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

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

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.

2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.

3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:

■ по адресу 119991, г. Москва, ГСП-1 Ленинские горы, д. 1, кор. 46, офис 138, редакция журнала «В мире науки»;

■ по электронной почте podpiska@sciam.ru, info@sciam.ru;

■ по факсу: +7(495) 939-42-66

Стоимость подписки на второе полугодие 2011 г. составит:

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

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

Стоимость одного номера журнала: за 2005–2006 гг. — **50 руб. 00 коп.**, за 2007 г. — **70 руб. 00 коп.**, за 2008 г. — **80 руб. 00 коп.**;

за 2009 г. — **100 руб. 00 коп.** — **первое полугодие, 110 руб. 00 коп.** — **второе полугодие**; за 2010 г. — **120 руб. 00 коп.**

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

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

Бланк подписки на журнал размещен на сайте www.sciam.ru.

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

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

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2011 г.												
2010 г.												
2009 г.												
2008 г.												
2007 г.												
2006 г.												
2005 г.												
2004 г.												

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 770101001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

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

Плательщик

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 770101001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

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

Плательщик

■ **ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ
НА ЖУРНАЛ "В МИРЕ НАУКИ"
МОЖНО:**

**В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ
ПО КАТАЛОГАМ:**

"РОСПЕЧАТЬ",
ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

81736 для ЧАСТНЫХ ЛИЦ,
19559 для ПРЕДПРИЯТИЙ
И ОРГАНИЗАЦИЙ;

"ПОЧТА РОССИИ"

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС
16575 для ЧАСТНЫХ ЛИЦ,

11406 для ПРЕДПРИЯТИЙ
И ОРГАНИЗАЦИЙ;

АП ИНТЕР-ПОЧТА

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 4626

WWW.INTERPOSTA.RU

КАТАЛОГ «ПРЕССА РОССИИ» 45724

WWW.AKC.RU

ПОДПИСКА ПО РФ И СТРАНАМ СНГ:

ООО "УРАЛ-ПРЕСС",

WWW.URAL-PRESS.RU

СНГ, СТРАНЫ БАЛТИИ И ДАЛЬНЕЕ

ЗАРУБЕЖЬЕ: ЗАО "МК-ПЕРИОДИКА",

WWW.PERIODICALS.RU

РФ, СНГ, ЛАТВИЯ:

ООО "АГЕНТСТВО "КНИГА-СЕРВИС",

WWW.AKC.RU



ОЧЕВИДНОЕ
НЕВЕРОЯТНОЕ

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

А. Пушкин

ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ

НА КАНАЛЕ «КУЛЬТУРА» ПО СУББОТАМ ПРОГРАММА С.П. КАПИЦЫ

Читайте в следующем выпуске журнала:



ПРЕДЕЛЫ РАЗУМНОГО

Законы физики могут воспрепятствовать превращению человеческого мозга в более мощную интеллектуальную машину

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВСЕЛЕННОЙ

Простая таблица, юбилей создания которой будет отмечаться в этом году, продолжает оставаться незаменимым инструментом в звездной астрофизике

ПОСЛЕДНЕЕ ВЕЛИКОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Новые данные свидетельствуют, что предшествовавший нынешнему период повышения температур на Земле был не в пример более жарким

ЭВОЛЮЦИЯ ГЛАЗА

Теперь ученые точно знают, как сформировался этот сложный орган зрения

ПОДЗЕМКА

Будущее нью-йоркского метро

ВСЕОБЩЕЕ ЗАТЕМНЕНИЕ

Мощный компьютерный вирус разрушил хорошо защищенные промышленные системы управления. На очереди может быть сеть электроснабжения

www.sciam.ru



В мире науки
scientific american
197 2004

**НАНОТЕХНОЛОГИИ
И ДВОЙНАЯ
СПИРАЛЬ**

УРОКИ ВОЛКОВ
ЯДЕРНЫЕ
взрывы на орбите
СТВОЛОВЫЕ
КЛЕТКИ.
СОМНЕНИЯ И НАДЕЖДЫ
КАК РАБОТАЕТ

В мире науки
14 2002

Информация
в голографической Вселенной

Планета
обозначена
Вода
жизни и мечты
Откровения
Альфредовского оркестра