КОСМОС
Плутон и окрестности

МЕДИЦИНА
Вирусная терапия рака

ТЕХНОЛОГИИ
Программируемая реальность

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN

В мире науки

www.sci-ru.org

№1 2015

12+

Нейробиология МЕДИТАЦИИ

Как духовная практика меняет мозг человека, повышая концентрацию и снимая стресс

СОДЕРЖАНИЕ
Январь 2015

Главные темы номера

Экология

ЧТО ГРОЗИТ БАЙКАЛУ? 4

Владимир Губарев

Об экологических проблемах крупнейшего природного резервуара пресной воды и одного из самых красивых озер на планете рассказывают директор Лимнологического института СО РАН академик ***Михаил Грачев*** *и другие сотрудники института*

Идеи, меняющие мир

ОХОТНИКИ НА БОЗОН 16

Ольга Платицина

Большой адронный коллайдер CERN — крупнейший в мире ускоритель заряженных частиц, детекторы которого два года назад зафиксировали следы знаменитого бозона Хиггса. Автор и ведущая программы «Идеи, меняющие мир» ***Эвелина Закамская*** *беседует с главой CERN* ***Рольфом-Дитером Хойером***

Нейронауки

МОЗГ И МЕДИТАЦИЯ 24

Ричард Дэвидсон, Антуан Лутц и Матье Рикар

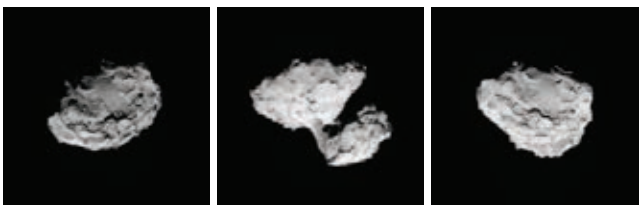
Созерцательные практики, возникшие тысячи лет назад, полезны и уму и телу

Космос

ПЛУТОН И ТО, ЧТО ЗА НИМ 34

Майкл Лемоник

Впервые космический аппарат с близкого расстояния рассмотрит кометы, астероиды и карликовые планеты далекого пояса Койпера. Два зонда должны поведать нам о том, как зародилась Солнечная система



Сельское хозяйство

СПАСИТЕ КОФЕ! 44

Хиллари Роснер

Как получить кофейные деревья с новыми полезными признаками и интродуцировать их в нынешнюю почти гомогенную популяцию, прежде чем она погибнет от какой-либо болезни или по другим причинам

Энергетика

СОЛНЕЧНЫЕ ВОЙНЫ 52

Дэвид Биелло

Растущая популярность солнечных батарей, установленных на крышах зданий, вызывает ответный удар обслуживающих энергокомпаний

12+

Биология

ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ 60

Роб Данн

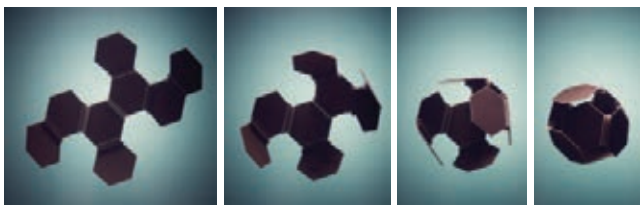
Жилища, которые строят себе животные, — точно такой же продукт эволюции, как и сами строители

Инженерия

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ МИР 68

Баннинг Гарретт, Томас Кэмпбелл и Скайлар Тиббитс

Благодаря появлению инновационных материалов, 3D-принтеров и новых методов проектирования человечество сможет создавать объекты, способные по команде осуществлять самосборку, изменять свои форму и свойства



Аэронавтика

НЕВЕРОЯТНЫЙ ПОЛЕТ 76

Дэвид Нунан

По мнению специалистов, вертолет, приводимый в движение мускульной силой человека, летать не может. Однако двое молодых конструкторов доказали обратное — и в результате получили четверть миллиона долларов

Антропология

КОНВЕРГЕНЦИЯ СКВОЗЬ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ 84

Виктор Фридман

Научный сотрудник лаборатории геномных и постгеномных исследований Курчатовского НБИКС-центра ***Артем Недолужко*** *— о том, как можно использовать современные геномные и компьютерные технологии для расшифровки древней ДНК*

Биология

НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ БЕЗ ДНК 92

Майкл Скиннер

Внешние воздействия приводят к необратимому включению и выключению генов, не внося никаких изменений в сам геном. Какие-то из этих эпигенетических эффектов передаются в поколениях и могут служить причиной наследственных заболеваний

Медицина

ВИРУСЫ ПРОТИВ РАКА 102

Гордон Лэрд, Дуглас Махони и Дэвид Штойдль

Для некоторых онкологических больных вирусы, наделенные способностью убивать раковые клетки, оказались чудодейственным лекарством. Теперь задача вирусологов — закрепить этот успех

Разделы

От редакции 3

50, 100, 150 лет тому назад 43

Технофайлы 51

Наука в графиках 109

Книжное обозрение 110

ежемесячный научно-информационный журнал
SCIENTIFIC AMERICAN
В мире науки

Основатель и первый главный редактор журнала «В мире науки/Scientific American», профессор СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ КАПИЦА

НАШИ ПАРТНЕРЫ:

Российская Академия Наук

Телекоминвест

PETER SERVICE

Сибирское отделение РАН

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

РОСАТОМ

очевидное невероятное

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

Главный редактор: **В.Е. Фортов**
Первый заместитель главного редактора: **А.Л. Асеев**
Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»: **С.В. Попова**
Заместитель главного редактора: А.Ю. Мостинская
Зав. отделом естественных наук: В.Д. Ардаматская
Зав. отделом российских исследований: Ю.Г. Юшкявичюте
Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич
Обозреватели: В.С. Губарев, Ф.С. Капица, В.Ю. Чумаков
Администратор редакции: О.М. Горлова

Научные консультанты: д.х.н., акад. РАН, директор Лимнологического института СО РАН М.А. Грачев; д.б.н., проф. Е.В. Лихошвай; к.б.н. А.В. Недолужко; д.б.н., проф. О.А. Тимошкин

Над номером работали: М.С. Багоцкая, О.Л. Беленицкая, О.В. Калантарова, Т.М. Колядич, А.П. Кузнецов, И.В Ногаев, А.И. Прокопенко, И.Е. Сацевич, В.И. Сидорова, В.Э. Скворцов, В.П. Фридман, Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

Верстка: А.Р. Гукасян
Дизайнер: Я.В. Крутий
Корректура: Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета НП «Международное партнерство распространения научных знаний»: **В.Е. Фортов**
Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»: В.К. Рыбникова
Финансовый директор: Л.И. Гапоненко
Главный бухгалтер: Е.Р. Мещерякова

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.*

Отпечатано: В ЗАО «ПК «ЭКСТРА М», 143405, Московская область, Красногорский р-н, г. Красногорск, автодорога «Балтия», 23 км, владение 1, д. 1
Заказ №1 14-12-00217

© 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.

Авторские права НП «Международное партнерство распространения научных знаний».
© Все права защищены. Некоторые из материалов данного номера были ранее опубликованы Scientific American или его аффилированными лицами и используются по лицензии Scientific American. 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.
Торговая марка **Scientific American**, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

Дорогие друзья!

Провожая 2014 год, хочется поразмышлять не только о том, каким был прошлый год, но и о том, каким будет следующий. Ведь итоги уходящего — это хороший задел на будущее.

2014 г. для нашей науки прошел под знаком реформы Российской академии наук. Благодаря энергичным действиям президента страны В.В. Путина и введенному им мораторию удалось сохранить академию от ликвидации и относительно безболезненно пройти первый этап реформы.

В соответствии с законом о реформе были объединены в одну академию РАН, медицинская и сельскохозяйственная академии. Академией наук был разработан и принят новый, 13-й за всю историю устав Российской академии наук, который сохранил и закрепил демократические традиции, наработанные академией.

В наступающем году нам предстоит пройти второй этап реформы. 8 декабря состоялось заседание Совета по науке и образованию при Президенте РФ. Для нас стало хорошей новостью то, что В.В. Путин согласился с нашей инициативой о продлении еще на один год моратория на операции с имуществом РАН.

Академия наук в этом году занималась не только реорганизацией, но и своим прямым делом, оставаясь ведущим центром фундаментальных исследований страны. Учеными РАН было подготовлено более 30 проектов из разных областей высоких технологий для модернизации российской экономики. Четыре из них были представлены президенту страны, одобрены и утверждены для реализации. Это проекты, связанные с энергетикой, транспортом, компьютерными технологиями.

Наш журнал информировал своих читателей о новостях и событиях, связанных с наукой. Были опубликованы статьи о фундаментальных проблемах физики, математики, биологии, медицины, о ядерных технологиях, энергетике, многом другом. Широко освещалась 40-я научная ассамблея *COSPAR*, собравшая в Москве более 4 тыс. ученых, занимающихся космическими исследованиями. Был опубликован материал о масштабном проекте XXI в. — термоядерном реакторе *ITER*. В этом году вы могли прочитать интервью с выдающимися российскими учеными — академиками Л.Д. Фаддеевым, В.А. Рубаковым, А.Л. Асеевым, В.А. Садовничим, Р.И. Нигматулиным и др.

Уверен, что наша задача — делать только те шаги, которые улучшают условия для научной работы. Говорят, идеальное место для ученого даже не там, где работают десять нобелевских лауреатов, а там, где можно заниматься наукой 24 часа в сутки и семь дней в неделю. Нельзя управлять научным творчеством, все великое рождается в одной гениальной голове. Поэтому в центре реформы должен быть не чиновник, а тот, кто работает в лаборатории, кто действительно делает науку. Как говорил Петр Леонидович Капица, «руководить — это значит не мешать хорошим людям работать».

С Новым годом, дорогие читатели, коллеги и друзья! Желаю нам всем новых научных идей и открытий, мира и согласия, здоровья и счастья! До встречи в новом, 2015 году! ■

Владимир Фортов,
президент Российской академии наук,
главный редактор журнала
«В мире науки / Scientific American»

ЧТО ГРОЗИТ БАЙКАЛУ?

В академии наук случаются события, которые остаются в памяти надолго, а иногда и навсегда. На мой взгляд, нечто подобное произошло на заседании президиума РАН, на котором с подробным докладом выступил директор Лимнологического института Сибирского отделения РАН академик ***Михаил Александрович Грачев***

Фотографии О.А. Тимошкина

Академик Грачев — признанный во всем мире ведущий специалист по Байкалу. Его исследования, работы его учеников и коллег настолько масштабны и оригинальны, что ученым из других стран кажутся недосягаемыми. На президиуме академик Грачев выступил не с победными реляциями и не с перечислением своих достижений. Прежде всего его волновала та тревожная ситуация, которая сложилась сегодня вокруг Байкала. Зная характер Михаила Александровича, я не удивился этому: он всегда заостряет внимание общественности на главном, на том, что волнует его как ученого и гражданина.

— Почему сейчас потребовалось ваше выступление на президиуме РАН? Ведь, казалось бы, Байкал всегда был в центре внимания руководства академии?

— В течение последних трех десятилетий благодаря широкому научному сотрудничеству с участием известных российских и иностранных ученых озеро Байкал стало уникальной природной лабораторией для изучения климата и природной обстановки прошлого, биологического видообразования, перемешивания глубинных вод, объектом сотен междисциплинарных научных проектов. В 1960–1980-х гг. Байкал постоянно привлекал внимание президиума РАН в связи с дискуссиями о его возможном загрязнении и деградации под воздействием стоков Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. О судьбе Байкала постоянно беспокоились выдающиеся ученые — М.А. Лаврентьев, Т.Д. Трофимук, П.Л. Капица, В.А. Коптюг и др. В дальнейшем этот интерес со стороны РАН заметно угас, и байкальские проблемы и успехи в изучении озера рассматривались лишь на уровне Сибирского отделения РАН. Эти вопросы ни разу не включались в повестку дня работы президиума РАН и тем более общих собраний академии. Я постарался в чрезвычайно сжатой форме восполнить этот пробел.

— В последнее время я часто слышу об исследовательском корабле «Академик Коптюг», который стал своеобразным международным центром на Байкале.

— Он используется по-разному. В зависимости от того, что необходимо. На судне несколько лабораторий. В качестве буксира ему приходилось вытаскивать из-под воды и автомобили. Но главное — это, безусловно, экспедиционная работа. Я в институте с 1987 г., за это время настоящих визитов иностранцев…

— «Настоящих»? Как это понимать?

— Это серьезная работа в лабораториях и экспедициях. Так вот, «настоящих» визитов иностранцев было свыше 300. Довольно много. В этом году, например, мы изучали катастрофу на Байкале (об этом поговорим позже), в работе принимали участие ученые из Новой Зеландии и Нидерландов. Причем, как ни парадоксально это звучит, не мы им платили деньги, а они нам.

— В 1987 г. Валентин Афанасьевич Коптюг предложил вам переехать из Новосибирска в Иркутск и возглавить Лимнологический институт СО РАН. Это была своеобразная миссия. 27 лет вы ее выполняете. Есть ли удовлетворение?

— Я не люблю слово «миссия». У меня было желание испытать себя: могу я или нет? Свое желание я осуществил, т.е. смог поднять институт, чтобы в нем использовались методы классической и молекулярной биологии, биохимические, гидрохимические методы, химия атмосферы и т.д. Институт был большой, но в нем не было современных приборов и аппаратуры. Валентин Афанасьевич послал меня не одного, со мной изъявили желание поехать 20 ученых из Новосибирска. От обкома было получено 20 квартир, и с тех пор работа пошла. Институт вышел на новый уровень.

— В мире есть еще подобные институты? Озер ведь на планете много.

— Байкал — глубочайшее озеро в мире, это 90% запаса пресных вод в России и 20% мировых запасов. Это не просто озеро, и изучается оно методами не лимнологии, а в основном океанологии. Это очень необычный объект, который достался России. «Славное море — священный Байкал».

— В 1987 г. у вас были, очевидно, какие-то представления о Байкале. Насколько они изменились к нынешнему времени?

Тысячи мертвых моллюсков *на побережье бухты Сеногда, май 2014 г.*

— Когда я ехал на Байкал в 1987 г., то готовился увидеть, как его загадили. Тогда только об этом и говорили по телевидению, печатали статьи в газетах, и все помнили знаменитый фильм «У озера». Я ожидал увидеть Байкал загрязненным. Оказалось не так.

— Помню историю с нерпой. Утверждалось, что она погибает из-за загрязнений Байкала. Это не соответствует реальному положению вещей?

— Серьезные ученые ничего подобного не утверждали. Во-первых, картина гибели нерпы была похожа на эпидемию, а не на отравление. Во-вторых, признаков отравления никто не нашел. В-третьих, не нашлось яда, способного вызывать такие симптомы. Мы очень быстро установили с помощью методов современной молекулярной биологии, что нерпа больна собачьей чумкой. Погибло 6 тыс. животных. После этого возникла иммунная прослойка и эпидемия прекратилась. Впрочем, заболеть нерпа может в любой момент, если ее станет слишком много. Нерпа болела чумкой впервые, а на следующий год в Ботническом заливе заболели чумкой тюлени. И я понял, что дело в вакцине. Норок прививали живой вакциной от «чумы плотоядной» — это научное название собачьей чумки. Наши молекулярные исследования показали, что вирусы разные. Байкальский как раз ближе к собачьей чумке, а тот, что на Балтике, — подальше. Потом выяснилось, что собачьей чумкой могут болеть многие виды: и ластоногие, и другие водные млекопитающие. Для собак, как известно, это болезнь смертельная.

— Как мы знаем, удалось заглянуть в далекое прошлое не только Байкала, но и всей Восточной Сибири. Это благодаря уникальному эксперименту — бурению дна?

— Да. Это помогло расшифровать характеристики климата Восточной Сибири и, в частности, изменения его влажности на временном интервале до 5 млн лет до нашего времени. Диатомовые водоросли исчезали из пелагиали озера в периоды глобальных оледенений и достигали высокой численности во время межледниковий, чутко откликаясь на все установленные к настоящему времени колебания глобального климата. Исследование распределения изотопов урана в осадках озера Байкал привело к созданию геохимической модели и к выводу о том, что в периоды глобальных оледенений озеро было бессточным, а река Селенга пересыхала. При этом Байкал не высыхал: его уровень опускался на 30–50 м от современной отметки и в течение длительных промежутков времени оставался постоянным. Этот вывод вносит существенный вклад в современную палеоклиматологию, поскольку дает дополнительное свидетельство того, что водность великих рек Сибири была важнейшей обратной связью в цикле так называемых тысячелетних колебаний климата.

— Насколько мне известно, тайн у Байкала становится все меньше. Я имею в виду познание того уникального живого мира, который в нем есть.

— Выполнена датировка событий видообразования всех царств организмов Байкала. Установлено, что букеты видов, не прикрепленных ко дну озера в течение всего своего жизненного цикла, имеют очень древние корни, возраст которых сопоставим с возрастом Байкала (миоцен). А виды, постоянно живущие на дне, «расцвели» в плиоцене при первых глубоких и резких глобальных похолоданиях. Комплекс эндемичных коттоидных рыб Байкала сформировался в плейстоцене (0,01–1,8 млн лет назад) во время резких колебаний уровня озера. Современные эндемичные диатомовые водоросли Байкала заняли доминирующее положение в пелагиали недавно — в среднем и верхнем плейстоцене (100–600 тыс. лет назад), а эндемичные губки Байкала, несмотря на крайне необычную для пресноводных губок морфологию, оказались близкими родственниками космополитных, присутствующих повсеместно спонгиллид (бадяг). Выпущена многотомная серия атласов-определителей эндемиков и космополитов озера Байкал (около 3 тыс. таксонов) — итог многолетних исследований «населения» Байкала методами классической биологии, систематики, таксономии, световой и электронной микроскопии, а также экологии видов.

— Однако Байкал и комбинат, к сожалению, упоминаются чаще всего вместе.

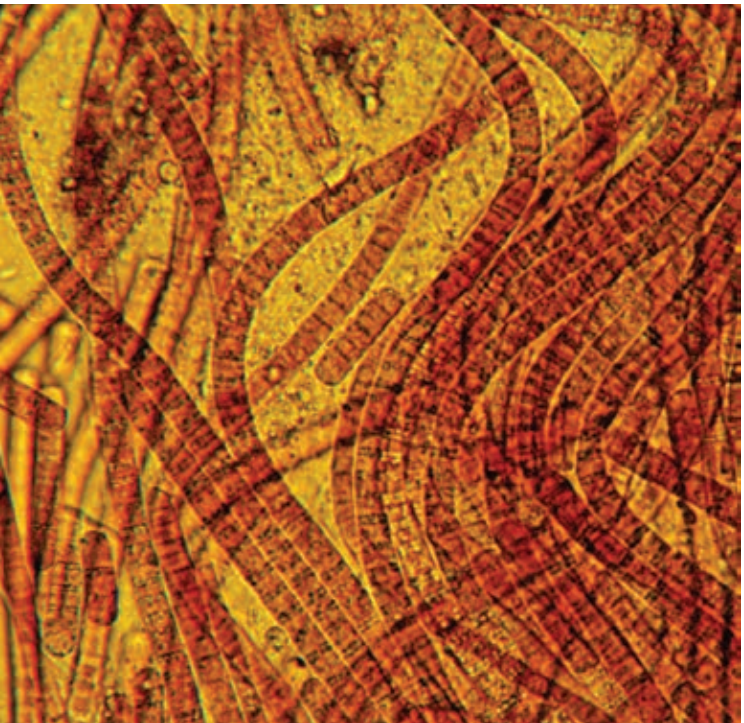
— Да, комбинат загрязнял Байкал, но это было локальное событие. Кстати, очистные сооружения на комбинате работали не то что сегодня — просто сравнивать невозможно! И контроль был серьезнейший: в Байкальске был специальный институт, следивший за всеми видами загрязнений. Он работал очень неплохо и выступал достойным оппонентом академии наук. Люди не понимали, что дело не в физическом загрязнении, а в гуманитарных аспектах. Комбинату не место на Байкале. Индустриальному объекту такого рода, который сбрасывает воды столько же, сколько город-миллионник, нельзя быть на этом озере. Этого очень многие не могли уяснить. Они чувствовали это, требовали удалить его, но сделать это было очень трудно — и по экономическим соображениям, и по социальным.

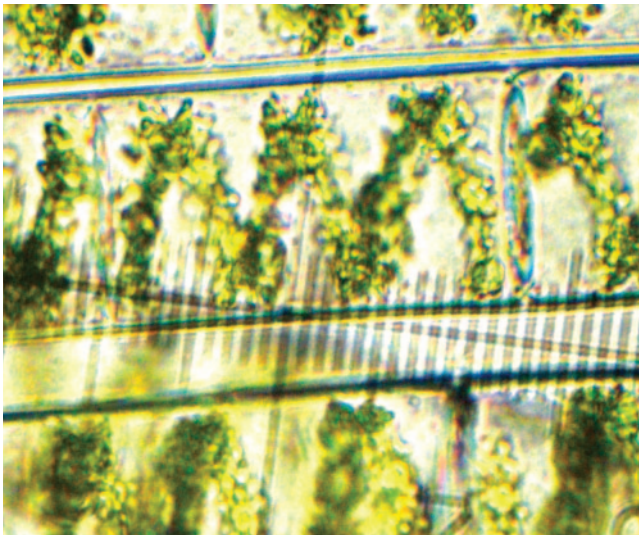
— А сейчас что там происходит? Каковы, так сказать, последние данные?

— Комбинат закрыли. Его попытались разобрать и по частям продать «на гайки». Но этот процесс прекращен, вмешалась прокуратура: там было много цветных металлов и всего дорогого. Сейчас идет нескончаемая тяжба с судами о том, как рекультивировать пруды. Ничего не сделано, еще один год потерян.

— Вы предлагали действовать по так называемому канадскому варианту?

— Это была не варка целлюлозы, а производство беленой термомеханической массы. Есть два предприятия в Канаде, которые производят не бумагу, а измельченную





Нити спирогиры *под микроскопом*

древесину. Стоков у предприятий нет совсем. И мы предложили поставить такой завод на Байкале. Конечно, это не было решением «гуманитарной проблемы», но все-таки гораздо лучше, чем Байкальский комбинат. Против этого яростно выступили организация «Гринпис» и Министерство экологии. Предложение отвергли, хотя оно было реальным.

— Во время своего выступления на президиуме РАН вы затронули разные проблемы Байкала: воды, водорослей, нерпы, атмосферы и ситуации с комбинатом. Все слушали с большим интересом. Но что все-таки было главным в вашем докладе?

— Я постарался донести главное. Оно заключается в том, что Байкал — очень инерционная система. Время полного обмена воды составляет четыре года. Если всю воду из Байкала вылить, то реки заполнят его только через это время. Время перемешивания воды — от 8 до 16 лет. Байкал — это 25 тыс. км^3. Поскольку Байкал — инерционная система, те изменения, что в нем происходят, идут очень медленно. Каждый год мы проводили экспедиции и следили за изменениями биологической жизни озера. Мы наблюдали фитопланктон (одноклеточные мелкие водоросли), фиксировали, что ни один вид не исчез, но появились некоторые нехарактерные для Байкала животные и растения. Их было не так много, т.е. мы наблюдали картину относительного благополучия. Последней крупной катастрофой, которая затронула всю экосистему озера, была болезнь нерпы в 1987 г. С 1916 г., с начала современных наблюдений, до этого заболевания нерпы не было катастроф подобного масштаба. И теперь мы вынуждены говорить о новой беде — зарастании береговой линии водорослью спирогирой. Она всегда была в малых количествах, но сейчас она катастрофически быстро размножается.

— Что она собой представляет?

— Это так называемая нитчатая водоросль, темно-зеленая, похожая на тину. Живет на самом урезе воды. Если человек заходит в Байкал, то обязательно поскользнется на ней и упадет, потому что она слизистая и противная, плохо пахнущая. Когда штормит, ее выбрасывает на берег. Там, где она есть, животные — лошади и коровы — воду не пьют, о людях я и не говорю. Эти водоросли мы обнаружили в 2011 г. и опубликовали сообщение об этом в «Докладах академии наук». Сегодня популяция водоросли достигла безобразных размеров, она распространилась на огромных территориях, особенно напротив хозяйственных объектов, расположенных по берегам, и в тех местах, где бывают туристы. Их стало в последнее время вдвое больше — до 1 млн 300 тыс. в год. Раньше были изменения в экосистеме Байкала, но локальные. Однако спирогира — совсем другое дело. Она затрагивает всю систему. Безусловно, она захватила не весь берег, но ее обнаружили во многих точках. Недавно мы зарегистрировали, что гибнет байкальская зеленая губка, очень красивая. Растет она медленно, а погибает стремительно и в больших количествах — под действием особой сине-зеленой бактерии. Это затрагивает периферию озера, всю береговую линию. Здесь я хочу вернуться к одной проблеме. Многие говорят, что у нас нет гражданского общества. Я с этим не согласен. Гражданское общество у нас есть, но оно должно быть упорным, чтобы чего-то добиться. Однажды наши водолазы и гидробиологи обнаружили спирогиру в Листвянке. В Северобайкальске, где БАМ и где есть депо, в котором мыли вагоны и локомотивы, тоже есть выбросы спирогиры. На протяжении 10 км по северо-западному берегу лежали кучи этой самой спирогиры. Позже мы определили, что там ее немало — 1,7 тыс т. Открытие сделали местные жители, т.е. те самые, что и представляют гражданское общество. Они доложили в прокуратуру, в правоохранительные органы — там реакции не было. Но в конце концов они своего добились: федеральный инспектор по охране природы приехал в Северобайкальск, убедился в верности сигналов общественности и обратился к нам за помощью. Он даже не знал, что это за водоросль, без микроскопа ее не определишь, но на тревожный сигнал жителей среагировал. Мы немедленно организовали экспедицию. Определили, отчего произошла вспышка, дали рекомендации, потом железная дорога кое-что сделала, но очистные сооружения в Северобайкальске все равно работают плохо. Далее мы провели уже пять экспедиций. Это недешевое дело: корабль стоит 120 тыс. руб. в день. Тем не менее те деньги, что мы сами заработали, мы потратили на эти экспедиции. Руководил ими профессор Олег Анатольевич Тимошкин, с которым обязательно нужно поговорить, чтобы в полной мере представить масштабы бедствия. Мы установили однозначно: катастрофа на Байкале — дело рук человеческих.

— И как это выяснилось?

— Горная речка состоит из нескольких рукавов. В один из них сливаются так называемые «очищенные» стоки. На выходе из этого рукава заросли спирогиры — просто косой коси. Профессор Тимошкин обследовал Байкал и обнаружил ее во многих местах. Это территории туристических комплексов в Баргузинском заливе, в городах Бабушкине и Слюдянке, вдоль Кругобайкальской дороги, в Больших Котах и других местах — все и не перечислишь! Мы думаем, что причина — туризм.

— И что же делать?

— Первое: запретить применение фосфорсодержащих порошков для стирки и мытья посуды. Фосфор — одна из причин быстрого распространения спирогиры. Человек с фекалиями за год выделяет около килограмма фосфора, а со стиральными средствами — в три-пять раз больше. Второе: все очистные сооружения на береговой линии Байкала либо разрушены, либо работают в нештатном режиме. Мало того, оказалось, что они спроектированы без всяких правил. Эту проблему нужно решать срочно. Конечно, нужны средства. Их нужно взять из Федеральной целевой программы охраны озера Байкал. Там 57 млрд руб. Я думаю, что половина этих средств тратится зря, не в интересах охраны Байкала. Мы предложили правительству, чтобы РАН сделала экспертизу, как ей и положено по новому закону, мы проведем дополнительные исследования и дадим четкие рекомендации, что нужно сделать, чтобы предотвратить трагедию. Я считаю, что академия наук должна занять

Мощнейшее береговое скопление детрита *длиной 1 км (преимущественно состоящего из спирогиры) рядом с губой Сеногда, октябрь 2013 г.*

жесткую позицию, т.к. Министерство природных ресурсов, которое отвечает за Байкал, на мой взгляд, своей задачи по охране озера не выполняет.

— Значит, надо торопиться?

— Не исключено, что мы опоздали и исправить ситуацию уже нельзя. Тогда останется только ждать и наблюдать, как система Байкала будет развиваться естественным путем.

— Байкал — очень мощная система, и он справлялся с разными бедами.

— Это не так! Байкал — не живое и не разумное существо. Он изменялся много раз за 25 млн лет. Летопись этих изменений у нас есть, она записана в осадках Байкала. В нем много раз исчезали диатомовые водоросли, потом появлялись вновь эти же и другие виды. Так что Байкал претерпел очень много изменений. Сколько времени ему потребуется, чтобы вернуться в исходное состояние после нынешней напасти, сказать невозможно. Сейчас из-за спирогиры погибли губки. Она заняла места нерестилищ желтокрылки — любимого корма омуля. Значит, происходящее может сказаться на популяции омуля. Те микробы сине-зеленых водорослей, что поразили байкальскую губку, могут содержать токсины. Все это требует исследований. Нужно время — два-три года, и нужны деньги. Те, что выделены, ушли в ту самую федеральную программу, которая ни одной проблемы Байкала не решит.

— Вы сделали доклад на заседании президиума академии. Что дальше?

— Думаю, что информация о ситуации на Байкале дойдет до Совета безопасности России, а правительство мы уже проинформировали. Надеюсь, что будут приняты меры, наказаны виновные, и на берегу Байкала будет построено порядка десяти хороших очистных сооружений. Строить их у нас умеют. В Якутске, где климат более суровый, такие сооружения есть. Нужно около 8 млрд руб. Взять их можно из программы по охране озера Байкал.

— Судьба Байкала зависит от ученых или от чиновников?

— Судьба Байкала зависит от простых людей. Нынешние загрязнения обнаружили простые люди, они же заметили, что омуля становится меньше, — может быть, это правда, а может быть и нет, но люди забили тревогу. Когда в 1987 г. гибла нерпа, местные жители сразу же проинформировали ученых. Те, кто живет на Байкале, все видят и всем дорожат. И мы должны откликаться на их просьбы, принимать их сигналы и честно выяснять, что происходит.

Вместе с академиком М.А. Грачевым на заседание президиума РАН прилетели ведущие сотрудники Лимнологического института СО РАН, и у нас была возможность поговорить с ними.

***Массовое цветение спирогиры**, бухта Большие Коты, ноябрь 2012 г.*

Вкус неповторимой красоты

Елена Валентиновна Лихошвай,
доктор биологических наук, профессор

— Елена Валентиновна, извините за банальный вопрос, но все-таки хотелось бы знать, почему вы любите Байкал?

— Когда вы на корабле и смотрите вокруг, то Байкал производит очень сильное впечатление — водная гладь, просторы, горизонты. Удивительные пейзажи. Неповторимость. Это главная особенность Байкала. К сожалению, сегодня, приехав на берег Байкала, испытываешь больше боль, чем наслаждение. Безвкусные разномастные застройки и вывески, привлекающие туристов, рынки, мусор, а в последние годы еще и заросли спирогиры — ситуация ужасная, и нужно немедленно принимать экстренные меры по очищению Байкала. Михаил Александрович говорил о том, что нужно делать, и мы, все сотрудники Лимнологического института, его поддерживаем. Байкал нельзя рассматривать как объект потребления, это священное место.

— Вы — заведующая отделом ультраструктуры клетки института. Для большинства людей это звучит непонятно и даже скучно. Может быть, и вся наука о Байкале именно такая?

— Байкал — это совершенно уникальный объект исследований. Его, к сожалению, мало знают в мире. Да, не удивляйтесь! Иногда посылаешь статью в зарубежный журнал, а рецензент пишет: сообщите, где расположен Байкал, что это за водоем и чем он примечателен. Байкал — это исключительный объект исследований. Он дает возможность и путешествовать в глубину веков, изучать палеолетопись, восстанавливать условия окружающей среды, которые были миллионы лет назад, и изучать разнообразие ныне живущих организмов, которых в нем потрясающее количество. Из-за большой глубины, холодных вод и наличия мелководных прогреваемых заливов в нем создаются условия, которые позволяют различным организмам существовать вместе. Они не конкурируют, а занимают свои экологические ниши. Такого многообразия живого, пожалуй, нет нигде в мире. И для ученого этого очень интересно.

Я занимаюсь микроскопическими организмами, размер которых меньше миллиметра, мой любимый объект — диатомовые водоросли. Взглянув на них в сканирующий электронный микроскоп, вы уже не скажете, что это скучный объект. Это совершенная и прекрасная ультраструктура.

— И там тоже своя Вселенная?

— Конечно. Разнообразие микроскопических организмов большое, и функционируют они очень интересно. В Байкале много пластов знаний, которые еще не подняты. И хочется их поднять и освоить — так что для исследователя поле широчайшее.

— А конкретный пример можно?

— Было бы замечательно, чтобы в ближайшие годы был проведен анализ вирусных инфекций, контролирующих развитие популяций водных организмов. Если бактериофаги на Байкале не так давно были выделены и определены, то о вирусах других гидробионтов этого сказать нельзя.

Если раньше отдавалось предпочтение комплексному междисциплинарному исследованию с помощью разных методов, и этим славились Сибирское отделение академии наук и наш институт в частности, то теперь пришло

Из-за большой глубины, холодных вод и наличия мелководных прогреваемых заливов в Байкале создаются условия, которые позволяют различным организмам существовать вместе. Они не конкурируют, а занимают свои экологические ниши. Такого многообразия живого, пожалуй, нет нигде в мире

время, требующее новых подходов. Надо изучать связи между организмами. Не только то, как организм ведет себя в определенных условиях, допустим, под влиянием температуры, но и как разные организмы взаимодействуют друг с другом. Сегодня одна из новых тенденций мировой науки — системная океанологическая биология. В Байкале такие исследования проводить можно. Это интересная область знаний, которая принесет много новых открытий, — в том числе, возможно, позволит понять, каким образом сформировалось такое неповторимое разнообразие видов.

— При вас и при вашем участии начались палеоисследования Байкала. За 25 млн лет, которые он существует, много было организмов, которые исчезли?

— Можно говорить только о тех организмах, которые оставляют следы в палеолетописи. Это опять-таки диатомовые водоросли. Конечно, за такой большой промежуток времени многие виды исчезли, а многие появились. В Байкале за 25–27 млн лет происходили разные события, и мы прослеживаем их в материалах, которые были получены в результате бурения донных отложений. Других таких непрерывных палеолетописей в мире нет. Мы знаем, как изменялся климат на протяжении миллионов лет, следовательно, как вместе с ним менялся и мир живого.

— Бурение дна Байкала — один из беспрецедентных экспериментов в мировой науке?

— Безусловно!

— Жаль, что у нас о нем мало рассказывали, общественность почти ничего не знает об этом.

— К сожалению, достижения науки России в целом и байкальской в частности известны мало. Повторяю: к сожалению. Потому что нам есть чем гордиться.

— Каким вам видится будущее Байкала?

— Многое зависит от человека. По исследованиям последних лет, вода остается чистой, значительных изменений нет. Однако не следует надеяться, что со всеми бедами Байкал справится сам. По наблюдениям наших специалистов, некоторые виды рыб перестали нереститься там, где разрастается спирогира. И сейчас надо все силы бросить на то, чтобы справиться с этой бедой. Байкалу надо помогать, и такая реальная возможность у нас есть. Те предложения, которые озвучил Михаил Александрович Грачев, реальны и выполнимы. Все зависит только от решения властей и активности людей, готовых встать на защиту Байкала. Ничего сложного нет. Запретить использование порошков — разве это сложно? Или выдавать людям пакеты для мусора, чтобы они не разбрасывали его по берегам, а на выезде из зоны отдыха собирать их с содержимым — сложно? Не сдал пакет с мусором — возвращайся и набери другой. Построить хорошие очистные сооружения, чтобы не сбрасывать нечистоты в озеро, — это очень трудно? Нет нерешаемых проблем, нужно только желание решать их!

Черный след трагедии

На беседу заведующий лабораторией биологии водных беспозвоночных Лимнологического института СО РАН доктор биологических наук **Олег Анатольевич Тимошкин** пришел с очень тяжелой сумкой. Поднять ее мог только он один, поскольку находится в хорошей спортивной форме. Впрочем, иначе и не могло быть — ведь Тимошкин возглавлял все пять экспедиций Лимнологического института, которые занимались спирогирой. Что лежало в сумке, мы узнаем позже, а сначала было представление.

— Я работаю на Байкале 33 года, после окончания Казанского университета приехал сюда. 27 лет заведую лабораторией — одной из крупнейших в институте, в которой около 30 научных сотрудников. Вся моя научная жизнь прошла на Байкале.

По наблюдениям специалистов, некоторые виды рыб перестали нереститься там, где разрастается спирогира. И сейчас надо все силы бросить на то, чтобы справиться с этой бедой. Все зависит только от решения властей и активности людей, готовых встать на защиту Байкала

— И что было самое интересное в ней?

— Планарии — этакие маленькие червячки, которых я раньше считал не очень интеллектуальными.

— А оказалось?

— Они весьма разумны! На Байкале обитают самые крупные пресноводные планарии мира. Это один из отрядов свободно живущих червей. Средний размер взрослых планарий — сантиметр-два, и в него вмещаются настоящий мозг с глазами, половая, выделительная и пищеварительная системы. У них есть все!

— То есть планарии — кандидаты в разумные существа?

— А они такие и есть. Но самое интересное вот что: эти черви способны восстанавливаться. Один немец 80 лет назад разрезал тело планарии на 260 частей — на столько, на сколько смог. Из каждого кусочка развилась целая планария со всеми системами органов, которые ей положены. Это излюбленный объект для исследования регенерации у многих поколений ученых. Планарии отправляют в космос и там изучают процессы регенерации. Оказалось, что Байкал — рай для планарий и турбеллярий. В своей жизни я описал около 150 новых видов.

— С планариями ясно, а что такое турбеллярии?

— Они «рангом повыше». Если планарии — отряд, то турбеллярии — это уже класс плоских червей. Я пользуюсь старой терминологией, хотя молекулярные биологи уже все перемешали. Когда я приехал на Байкал, то поразился: там было столько интереснейших планарий и турбеллярий, что уже в дипломной работе мы с научным руководителем, профессором Казанского госуниверситета Ниной Александровной Порфирьевой описали несколько новых их подвидов. Мне очень повезло, в то время было несколько глубоководных тралений. С глубины порядка 1,3 тыс. м поднимался трал, и я, студент Казанского университета, копался в этой жиже и доставал планарий, зарисовывал их цветными карандашами — таких фотоаппаратов, как сегодня, тогда не было. Позже я понял, насколько хороши они для изучения любых проблем — от экологии до эволюции и общей биологии.

— А какова связь между планариями и той бедой, что пришла на Байкал?

— Года четыре назад мы с нашей лабораторией совсем обеднели. Что делать? Надо было что-то придумать, находить новые темы. И оказалось, что она буквально под ногами: так называемая заплесковая зона. Это новая страничка в лимнологии — не только Байкала, но и большинства евроазиатских озер. Наземные экологи ее не изучали, думали, что она принадлежит озерникам, а лимнологи не изучали, потому что это не вода. Вот мы и обратили на нее внимание, с аспирантами и студентами сделали множество открытий. Это буферная зона между озером и наземными экосистемами. Оказалось, что здесь формируются новые виды, и мы их нашли. Причем там три-четыре генетических источника: сухопутные черви могли спускаться в эту влажную зону, из озера могли подниматься их «коллеги», а из речек приходить третьи. Кроме того, здесь могли образовываться совершенно потрясающие виды. И еще оказалось, что заплесковая зона — своеобразный градусник, который показывает, насколько загрязнена прибрежная экосистема. Мы копаем луночку, там выступает вода, и мы ее исследуем. Выяснилось, что напротив населенных пунктов она загрязнена санитарно-показательными (фекальными) микроорганизмами. И мне пришлось оставить на время любимых планарий и турбеллярий и заняться экологией прибрежной зоны озера в целом.

— Да и Байкал в этом остро нуждается!

— Когда в 2011 г. мы пришли в одну потрясающую по красоте бухту на Ольхоне, я был поражен тем, что увидел. Берега, т.е. та самая заплесковая зона, были покрыты пластиковыми бутылками, мешками, разным мусором. За три-четыре часа мы очистили несколько бухт, работало семь человек: мои студенты и я. Потом мы подсчитали, что за два месяца с минимальными затратами можно очистить побережье всего Ольхона. Я имею в виду заплесковую зону, а не те горы мусора, что на самом острове.

— Теперь понятно, почему вы оказались во главе экспедиций.

— У меня в сумке 13 томов, здесь все об озере Байкал. В течение 15 лет мы занимались созданием этих томов, в них все, что касается биоразнообразия Байкала, информация, накопленная за 200–250 лет. Книги двуязычные — на русском и английском. Если вы спросите меня, чем я горжусь, и даже если не спросите, я все равно скажу: этими книгами.

— Значит, весь живой мир Байкала в этой сумке?

— Да, все о живом — в этих томах. Это научный труд, которого в мире раньше не существовало, и мы, сотрудники Лимнологического института СО РАН, гордимся тем, что причастны к его созданию.

— Понимаю вас, но все-таки нам следует вернуться к спирогире.

— Мы от нее и не отступали. Эта водоросль описана в наших исследованиях.

— Вы были готовы к тем событиям, которые разворачиваются сегодня на Байкале?

— Не совсем. Две группы, которые работали в нашем институте, обнаружили изменения в экосистеме Байкала, в частности в заливе Лиственничный. А немногим раньше в бухте Большие Коты было зафиксировано размножение спирогиры. Это было начало. Поскольку денег не было, мы могли исследовать процессы только в бухтах, которые находятся рядом с нашими станциями. Однако в 2013 г. пришла информация из Северобайкальска. Михаил Александрович вызвал меня и сказал: «Олег, надо ехать!» Прибыли туда, и могу сказать, что ничего подобного за мои 33 года на Байкале я не видел. Представьте: вы идете по красивейшему берегу и вдруг видите, что набросан навоз толщиной до метра. И запах такой, что выдержать почти невозможно. Причем с воды он начинает ощущаться издали. Вода такая, как будто произошел разлив нефти. Я знал эти места раньше. Здесь было много рыбы, ловились сиг, хариус, омуль. А сейчас — мертвые берега и мертвая отмель, дно затянуто тиной. И все это на протяжении десятка километров.

— Какие были предположения?

— Местные жители грешили на очистные сооружения. Они думали, что это неочищенные аварийные выбросы. Я взял щепоточку этой черной грязи, пошел в лабораторию на корабле и поставил образец под микроскоп. Оказалось, что это та самая спирогира, массовое размножение которой мы раньше обнаружили в Больших Котах и группа Л.С. Кравцовой в Листвянке. Звонит Грачев, спрашивает, что я обнаружил. Я молчу. Он: «Спирогира?» Подтверждаю: «Да, Михаил Александрович, это спирогира». Начали подсчеты. Выяснилось, что только на этом десятикилометровом участке берега ее выбросило почти 1,5 тыс. т. Никогда раньше на Байкале не могло образоваться столько гниющего материала, буквально выплюнутого озером. Значит, случилось нечто необычное. Что именно? Это и предстояло выяснить.

Оказывается, до нас приезжали какие-то делегации от экологических организаций, и они сделали вывод, что случившееся — природное явление. Нам же предстояло доказать, что это не природное явление, а вполне

рукотворное. Пять раз мы побывали там, провели экспедиции по всему Байкалу. Более 40 раз аквалангисты-ученые из Новой Зеландии и Нидерландов погружались в Байкал, работали и наши специалисты. Работы приобрели международный характер.

— Какова была главная цель этих исследований?

— Мы должны были выяснить, насколько широко спирогира распространилась по территории Байкала. Это во-первых. Во-вторых — найти «чистые точки», если таковые есть.

— Нашли?

— Да. Но оказалось, что восточное побережье до глубины 10–15 м зарастает этой не свойственной Байкалу водорослью.

— И чем это все грозит, кроме гнили и запаха по берегам?

— На Байкале много эндемичных растений, и спирогира давит их: некоторые образцы эндемиков было необычайно трудно достать сквозь полотно спирогиры.

Наибольший уровень загрязнения *зафиксирован в районе поселка Заречный на Северном Байкале (вверху и справа)*

— А что с водой?

— В целом спирогира не сможет ухудшить качество байкальской воды, т.к. озеро очень большое. Где-то у берегов ею пользоваться нельзя, даже животные ее не пьют. Но это только у берегов, где царствует спирогира. Однако многие эндемики, которыми так славится Байкал, могут исчезнуть. В озере более 2,6 тыс. беспозвоночных, более половины всех эндемиков, что описаны в мире, находятся в Байкале. Это биологическое богатство! Многие эндемики обитают в прибрежной зоне, и борьбы со спирогирой они не выдержат, погибнут.

— Или уже погибли?

— Я убежден, что в заливе Лиственничный это уже случилось, а в заливе Большие Коты катастрофу еще можно предотвратить. В Байкале обитают три формы губок. Еще пять лет назад дно залива глубже 10 км Лиственничный было ими покрыто. По сообщению ученого-аквалангиста И.В. Ханаева, сейчас их там почти нет, можно встретить только отдельные экземпляры. А у той же ветвистой губки, которая достигает 1,5 м, скорость роста — 1 см в год. Если особи метровой длины погибли, то для восстановления их требуется 100 лет. Если бы мы сегодня смогли убрать все причины, которые вызывают массовое размножение спирогиры и поражение губок, то ветвистые губки такого размера появились бы здесь в лучшем случае через век.

— Но не весь же Байкал заражен?

— Порядка 30–40% прибрежной зоны озера чистые — т.е. спирогира там не найдена и губки здоровые.

— Но ведь это глобальная катастрофа!

— Да, это так, хотя в науке не принято выражаться столь эмоционально. Что меня поразило: результаты погружений показали, что практически 60% мелководья заросли спирогирой. Исключение — остров Ольхон, там всего два места, где мы обнаружили спирогиру, а также участок северо-западного побережья от мыса Елохин до начала Малого моря. Итак, 40 погружений. Выяснилось, что от 30 до 100% мелководных губок были поражены, т.е. или были угнетены, или погибли. По сообщению новозеландского ботаника-водолаза, специалиста по кладофоровым водорослям К. Будеккера, еще три года назад ничего подобного не наблюдалось. Массовая гибель губок — это серьезный сигнал о болезни озера. Последняя экспедиция в ноябре 2014 г. на маленьком корабле в Большие Коты показала, что напротив устья реки Черная поражены 100% ветвистых губок. Меня удивляет реакция местных властей и Минприроды — они слишком спокойно относятся к происходящему. На севере Байкала мы нашли свидетельства и массовой гибели моллюсков. Идешь, а их сотни тысяч валяются вдоль берега. Я не могу связать это со спирогирой, есть разные гипотезы, но ситуация говорит о неблагополучии на Байкале. Не хочу ввязываться в политику, но нельзя так спокойно относиться к той беде, что обрушилась на Байкал.

— И что делать?

— Сначала некоторые выводы. Их я приводил, выступая на совещании, где присутствовали представители разных ведомств, «отвечающих» за Байкал. Я говорил о том, что существующая система государственного мониторинга неэффективна, т.к. она не способна определить, что происходит на дне Байкала. Она способна диагностировать болезнь лишь на «четвертой стадии», когда сделать ничего невозможно. Существует доклад о ситуации на Байкале в 2013 г. И там на странице 204 черным по белому написано, что государственные структуры крупномасштабных экологических изменений в 2013 г. не обнаружили.

— А разве они могли написать иначе? Если бы обнаружили, то надо было бы что-то делать. Лучше «не обнаружили» — и точка.

— В Японии есть древнее озеро Бива, тоже удивительно красивое, я работал там неоднократно. Оно намного меньше Байкала, но для префектуры Шига очень важное: оттуда брали пресную воду и туда же сбрасывали ее после очистки. Постепенно все эндемики в озере исчезли, оно было настолько загрязнено (в том числе и фосфатами), что начали болеть люди. Ученые выяснили причины этой беды, сообщили свои выводы. И тогда женщины Японии организовали движение *Soap Movement* против использования стиральных порошков, содержащих фосфаты, и в конце концов победили: могущественные химические компании были вынуждены изменить состав порошков. Михаил Александрович проанализировал ситуацию с порошками. Выяснилось, что в Европу компании продают порошки без фосфатов, которые там запрещены, а нам с фосфатами, которые так любит спирогира. Хорошо бы, чтобы наши женщины последовали примеру японок. Но если говорить серьезно, то получается, что с одной стороны ученые Лимнологического института, а с другой чиновники Минприроды, региональные министры по охране природной среды и ученые, их обслуживающие, имеют прямо противоположные точки зрения на современное состояние экосистемы озера Байкал. Оппоненты обвиняют нас в том, что мы, мол, преувеличиваем опасности (дословно — дезинформируем общественность и ведем себя истерично), якобы все связано с климатическими изменениями. Какими изменениями? Приведите конкретные факты! — Молчание. Я согласен, климатические факторы могут быть своеобразными катализаторами негативных процессов, но служить основной причиной столь мощных изменений? Да, существуют две точки зрения, нужно оперировать научно обоснованными данными, и мы готовы это делать. Необходимо, чтобы ученые, политики, общественность собрались вместе, пришли к общему мнению и начали действовать. ■

Ведущие специалисты Лимнологического института СО РАН рассказали о той беде, что обрушилась на Байкал. Надо немедленно принимать меры по его спасению, пока еще есть возможность остановить катастрофу. Завтра уже может быть поздно.

Мы — те, кто готовил эти материалы к печати, — теперь внимательно будем смотреть на состав стиральных порошков, продаваемых нам, и если там присутствуют фосфаты, то такие порошки останутся на магазинной полке. Хотя бы так мы сможем помочь Байкалу.

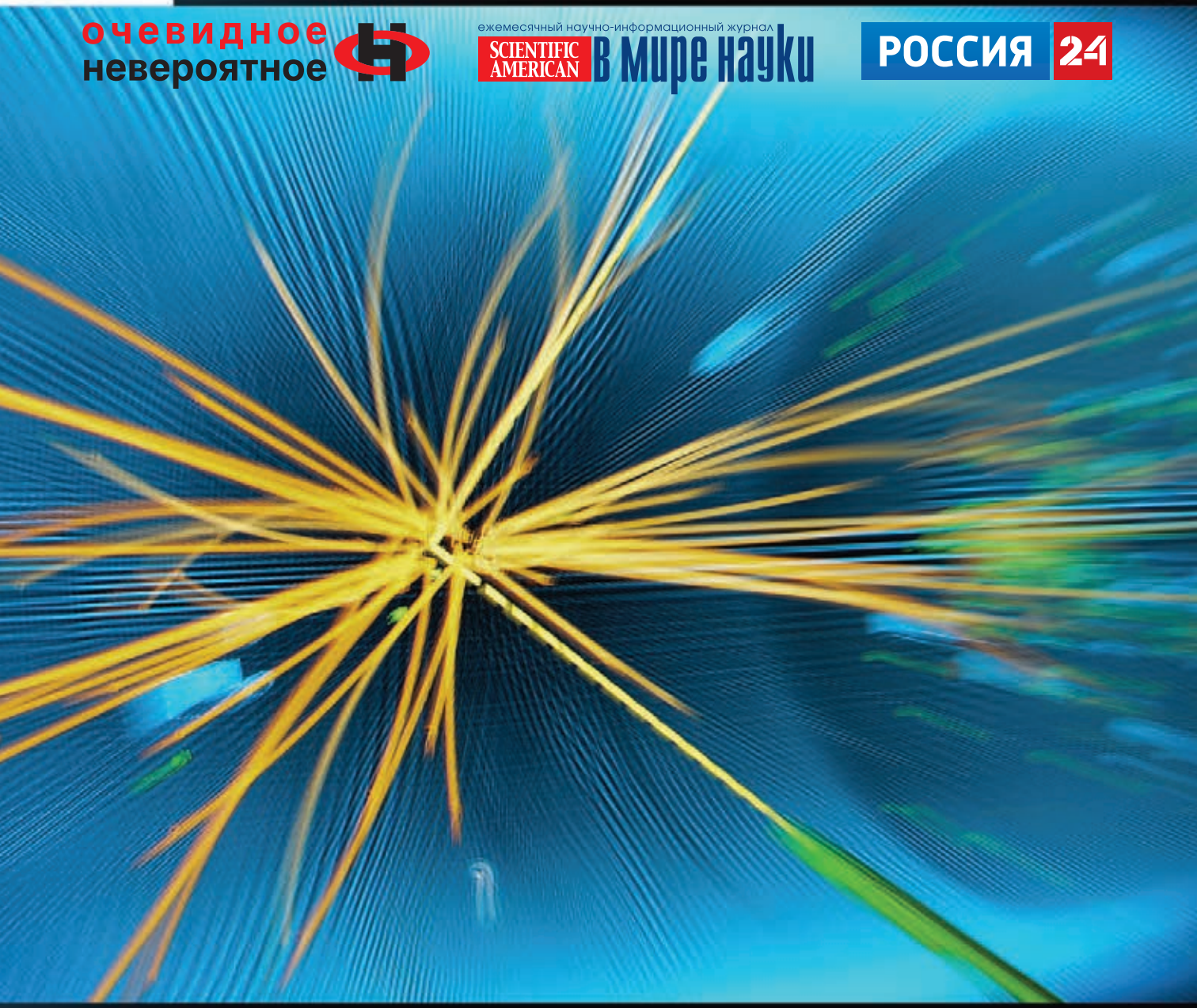
Подготовил Владимир Губарев

ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР

очевидное невероятное

ежемесячный научно-информационный журнал
SCIENTIFIC AMERICAN В мире науки

РОССИЯ 24



Автор и ведущая программы Эвелина Закамская встретилась и побеседовала с главой CERN ***Рольфом-Дитером Хойером***

Охотники на БОЗОН

Большой адронный коллайдер CERN — это крупнейший в мире ускоритель заряженных частиц, детекторы которого два года назад с достаточной степенью вероятности зафиксировали следы знаменитого бозона Хиггса, элементарной частицы, которая ответственна за существование массы во Вселенной и получила неформальное имя «частицы Бога». Чтобы познакомить телезрителей с этим загадочным микрообъектом поближе, в подземный тоннель БАК на глубину 100 м спустилась съемочная группа нашей программы «Идеи, меняющие мир» (совместный проект ТК «Очевидное — невероятное» и телеканала «Россия 24»).

Автор и ведущая программы «Идеи, меняющие мир» Эвелина Закамская

Профессор Хойер — человек, который взял на себя личную ответственность объявить миру, что теоретически описанное полвека назад недостающее звено мироздания реально существует, и тем самым помог теоретикам Питеру Хиггсу и Франсуа Энглеру заслуженно получить в прошлом году Нобелевскую премию в области физики. Наша программа не могла обойти вниманием это событие и человека, возглавляющего огромный научный коллектив Европейского центра ядерных исследований *(CERN)*. Конечно, нам был интересен и сам легендарный бозон Хиггса: он стал первым неодушевленным героем нашей программы за всю ее историю.

Подземные гонки протонов

В «Идеях, меняющих мир» российские зрители увидели хиггсовский бозон таким, каким его визуализируют сами швейцарцы: в шляпе и тяжелых ботинках, в подпитии выходящим в полночь из местного бистро… Впрочем, это всего лишь оригинальный памятник, который установлен в местной деревушке Ивуар. Обыденному человеческому сознанию представить любую из фундаментальных частиц так же сложно, как вообразить бесконечность. С точки зрения теории это безразмерная математическая точка. Жизнь бозона слишком коротка, чтобы его можно было запечатлеть какими-либо средствами, — всего лишь одна триллионная доля секунды. Фактически ученые *CERN* несколько лет занимались попытками зафиксировать при помощи гигантских детекторов величиной с пятиэтажный дом даже не сам бозон, а лишь его следы. Теоретически предсказывалось, на какие дочерние частицы он может распадаться, и это было достаточной уликой для его «поимки».

Ажиотаж вокруг экспериментального обнаружения бозона Хиггса объяснялся тем, что от его существования зависело подтверждение целого комплекса теорий так называемой стандартной модели, описывающей законы взаимодействия элементарных частиц. В рамках этой теоретической конструкции бозону Хиггса отводится важная роль — он отвечает за придание прочим частицам массы. Профессор Хойер попытался описать этот сложный феномен нашим зрителям на доступном языке: «Бозон Хиггса объясняет, почему мы можем существовать физически. Без него все частицы не имели бы массы и пролетали сквозь Вселенную со скоростью света. Было бы очень трудно, хотя и не абсолютно невозможно, создать сложную материю. Было бы очень трудно создать нас».

Существование этого кирпичика мироздания было предсказано Питером Хиггсом и еще несколькими учеными еще в 1964 г. Трудности с экспериментальным подтверждением гипотезы долгое время возникали в том числе и потому, что теоретики не могли четко указать, какова его масса, был известен лишь примерный диапазон. Поэтому отсутствовала ясность, до какой именно скорости придется разгонять встречные пучки, чтобы столкновение частиц породило искомый бозон. Хватит ли на это технологических возможностей и, соответственно, материальных ресурсов? Эксперименты в области фундаментальной физики — занятие недешевое, и на сугубо национальном уровне реализовать такие проекты сейчас практически невозможно.

Так, в начале 1990-х гг. главные надежды на обнаружение хиггсовских бозонов мировое сообщество возлагало на кольцевой ускоритель *SSC* в Техасе, но проект был остановлен из-за недостатка финансирования. Длина его тоннеля обещала составить 87 км. Зачем такая гигантомания? Дело в том, что скорости для экспериментов требуются астрономические: протоны необходимо разогнать в электрическом поле до величин, сопоставимых со скоростью света: более 1 млрд км/ч. Двигаясь по кругу и постепенно ускоряясь, частицы должны «намотать» многие миллиарды километров, прежде чем скорость достигнет нужных значений. При этом искривлять траекторию движения приходится электромагнитами. В борьбе за сверхпроводимость используется охлаждение жидким гелием, и температуры создаются тоже мало представимые для неискушенного ума: ниже –270° *C*. Когда достигнут предел в их мощности, а энергию требуется повышать дальше, остается только увеличивать радиус поворота, т.е. удлинять «кольцо». Большой адронный коллайдер в Женеве получился не таким огромным, как

американский недострой, «всего» 27 км, но обошелся он странам-участницам в миллиарды евро. В БАК использовалось более 9,3 тыс. магнитов разного назначения. Некоторые из них достигают в длину 15 м и веса в 35 т.

При всех этих параметрах БАК сегодня — самый мощный действующий ускоритель частиц на встречных пучках (а точнее, целая система ускорителей), фактически крупнейший образец действующего исследовательского оборудования из когда-либо созданных человечеством. Естественно, он стал рекордсменом Книги рекордов Гиннесса и даже претендовал на звание самого выдающегося архитектурного сооружения XXI в. Экспериментальный комплекс настолько велик, что всем желающим посетить его территорию рекомендуют не забывать дома паспорт. Кольцо коллайдера выходит за пределы государственной границы Швейцарии на территорию соседней Франции, поэтому россиянам, которые захотят пройти по стопам нашей съемочной группы, стоит заранее побеспокоиться о получении шенгенской визы.

«Люди, работающие в нашей области здесь, в *CERN*, имеют определенный “ген” — мы работаем совместно и делимся результатами. Страны, поддерживающие и финансирующие *CERN*, понимают, что результаты наших исследований будут предоставлены всем желающим. В них вложены глобальные усилия, и к ним должен быть глобальный доступ»

Они существуют!

Кто эти люди, которые еще в 1964 г. предсказали существование краеугольной для понимания устройства мироздания субатомной частицы? Питер Хиггс и Франсуа Энглер, обоим сейчас за 80, оба — профессора-физики, в октябре прошлого года они разделили между собой Нобелевскую премию по физике в размере $1,25 млн. Если верить прессе, то все эти годы великие теоретики даже не были знакомы и впервые встретились лишь на официальном мероприятии по случаю экспериментального открытия частицы в *CERN*. А коллега и соавтор Энглера бельгийский физик Роберт Браут не смог войти в историю как нобелевский лауреат: он скончался за два года до экспериментального подтверждения бытия бозона, а премия, по правилам, присуждается только прижизненно.

Сам Хиггс проявил себя как чрезвычайно скромный человек. Он отказался от дистанционного участия в пресс-конференции нобелевских лауреатов, в первые дни избегал встреч с прессой, а саму радостную весть об избрании его лауреатом, как говорят, получил на улице от знакомой. Когда существование его тезки-бозона было экспериментально подтверждено учеными *CERN*, Хиггс признался, что не ожидал дожить до этого дня, — хотя, разумеется, в существовании частицы за прошедшие десятилетия не усомнился. Небезызвестный британский физик-теоретик и космолог Стивен Хокинг, кстати, и вовсе скептически высказывался насчет перспектив «охоты» на частицу. Однако и гении могут ошибаться.

«Это было потрясающее время, когда все работали в тесном контакте. Мы были счастливы, взволнованы и изможджены», — так Рольф-Дитер Хойер описывает в кадре «Идей» первые три года на своем посту генерального директора крупнейшей мировой лаборатории. Начав сталкивать в БАК пучки протонов, экспериментаторы сначала лишь осторожно надеялись на положительный результат, но со временем достоверность идентификации частицы в единицах сигма начала неуклонно расти. В июле 2012 г. она достигла достаточной для уверенности в открытии отметки 5 сигм (а впоследствии превысила 7 сигм). Однако чтобы официально объявить миру: «Бозон Хиггса существует», потребовалось решение профессора Хойера. Собственную роль в главном научном событии XXI в. этот человек оценивает скромно: «Иногда генеральному директору приходится рисковать, но это был не тот случай». Свое кредо ученого и администратора в разговоре с нами он сформулировал лаконично: «Очень важно смотреть на мир больше с точки зрения логики и, возможно, чуть меньше с точки зрения эмоций... Я предпочитаю не догадываться, а измерять».

Не обидно ли было ученым *CERN* работать ради чужого триумфа, не имея шансов увековечить себя в истории персонально? В одном из интервью Рольф-Дитер Хойер ответил на этот вопрос так: «В какой-то момент мы перешли к такой науке, когда отдельные личности уже не могут нести бремя крупных открытий». В интервью «Идеям» он продолжил эту мысль о коллективизме: «Люди, работающие в нашей области здесь, в *CERN*, имеют определенный “ген” — мы работаем совместно и делимся результатами. <...> Страны, поддерживающие и финансирующие *CERN*, понимают, что результаты наших исследований будут предоставлены всем желающим, они бесплатны для всех. В них вложены глобальные усилия, и к ним должен быть глобальный доступ».

Россия не числится страной — членом *CERN*, но в Швейцарии работало немало физиков и инженеров из числа соотечественников. Наши ведущие исследовательские центры внесли большой вклад в устройство БАК:

В кабинете главы CERN Рольфа-Дитера Хойера

оборудование для коллайдера конструировали в Новосибирске, Протвине и Дубне. Объединенный институт ядерной физики в Дубне профессор Хойер называет побратимом *CERN*. В частности, непосредственно в ОИЯИ для Большого адронного коллайдера изготавливаются сложнейшие детекторы и осуществляется обработка экспериментальных данных. При этом наш собственный международный проект НИКА здесь не считают конкурентом и называют подмосковный ускорительнуклотрон «младшим братом» БАК. «Они решают похожие задачи, но взаимодополняют друг друга, — говорит господин Хойер. — Мы даем высокую энергию, НИКА — низкую». Если в Женеве ищут субатомные частицы, то задача проекта НИКА — изучение процесса их возникновения несколько миллиардов лет назад, воссоздание условий Большого взрыва, в результате которого образовалась Вселенная. (О возможностях отечественного коллайдера НИКА и физиках-ядерщиках Дубны рассказывает отдельный выпуск программы «Идеи, меняющие мир».)

Физику — в массы

Первые моменты жизни Вселенной, спонтанное нарушение симметрий, возникновение асимметрии пространства и времени — все эти темы тесно связаны с бозоном Хиггса. А также с идеей… Создателя. Разумеется, в понимании части представителей человечества. В этой связи интересно происхождение выражения «частица Бога», которое часто употребляют как красивый синоним названия бозона. Профессору Рольфу-Дитеру Хойеру уже приходилось пояснять журналистам, что подоплека у этого наименования весьма прозаичная. По одной из версий, американский физик Леон Ледерман хотел дать своей книге о бозоне не совсем приличное название *The Goddamn Particle* (что-то вроде «Проклятая частица»), намекая на неуловимость бозона Хиггса. Однако издатель зачеркнул несколько букв, породив таким образом противоположный по значению мем. Сам Хойер призвал быть осторожнее с подобной образностью, поскольку выражение может быть истолковано публикой слишком вольно: например, будто Хиггс общался по поводу бозона с Господом или будто бозон существовал еще до Большого взрыва. Из этих рассуждений не очень понятно, придерживается ли наш собеседник каких-то религиозных убеждений, а задать столь личный вопрос мы ему, разумеется, не могли. Но как официальное лицо глава *CERN* недавно посещал Ватикан и имел аудиенцию с папой Франциском для обсуждения точек соприкосновения науки, философии и мировых религий.

Сейчас нашему герою гораздо чаще приходится общаться с людьми, чем наблюдать за жизнью субатомных частиц. Работая в течение последних пяти лет топ-менеджером, господин Хойер руководит огромным коллективом. В Европейском центре ядерных исследований работают 2,3 тыс. ученых и инженеров. Еще около 10,5 тыс. специалистов в области физики элементарных частиц из 100 стран мира привлекаются для участия в отдельных экспериментах. *CERN* — это глобальный интеллектуальный проект, но одновременно и огромное хозяйство, которое обслуживают 1,6 тыс. человек технического персонала (есть собственная пожарная часть). Как ученый может занять такой высокий административный пост? Процедура проста и открыта. В апреле на сайте лаборатории в разделе карьерных объявлений можно было видеть анонс: «Требуется генеральный директор». Контракт Рольфа-Дитера Хойера через полтора года заканчивается, и совет *CERN* таким демократичным способом подыскивал ему преемника. Личные выдающиеся достижения в области физики элементарных частиц и авторитетное имя были лишь двумя из пожеланий к кандидату. Требовалось также быть лидером,

Экскурсию по CERN для нашей съемочной группы провел директор ЛФВЭ ОИЯИ Владимир Кекелидзе

талантливым коммуникатором, пиарщиком и в немалой степени дипломатом. Ведь в членах этой международной организации состоит 21 страна, и искать консенсус в финансовых и прочих не сугубо научных вопросах — непосредственная задача руководителя.

Надо сказать, что демократичность — это первое, что бросилось в глаза нашей съемочной группе в ходе прогулки по *CERN*. «В столовой нобелевские лауреаты сидят за одним столом с молодыми учеными, и все чувствуют себя прекрасно. Все очень функционально, скромно и по делу. Местами видно, что многие здания и помещения нуждаются в ремонте, но это совершенно не мешает людям работать. Есть ощущение большого демократичного сообщества людей, объединенных идеей. И это точно не идея заработать деньги!» — так выразила свои ощущения автор и ведущая программы «Идеи, меняющие мир» Эвелина Закамская.

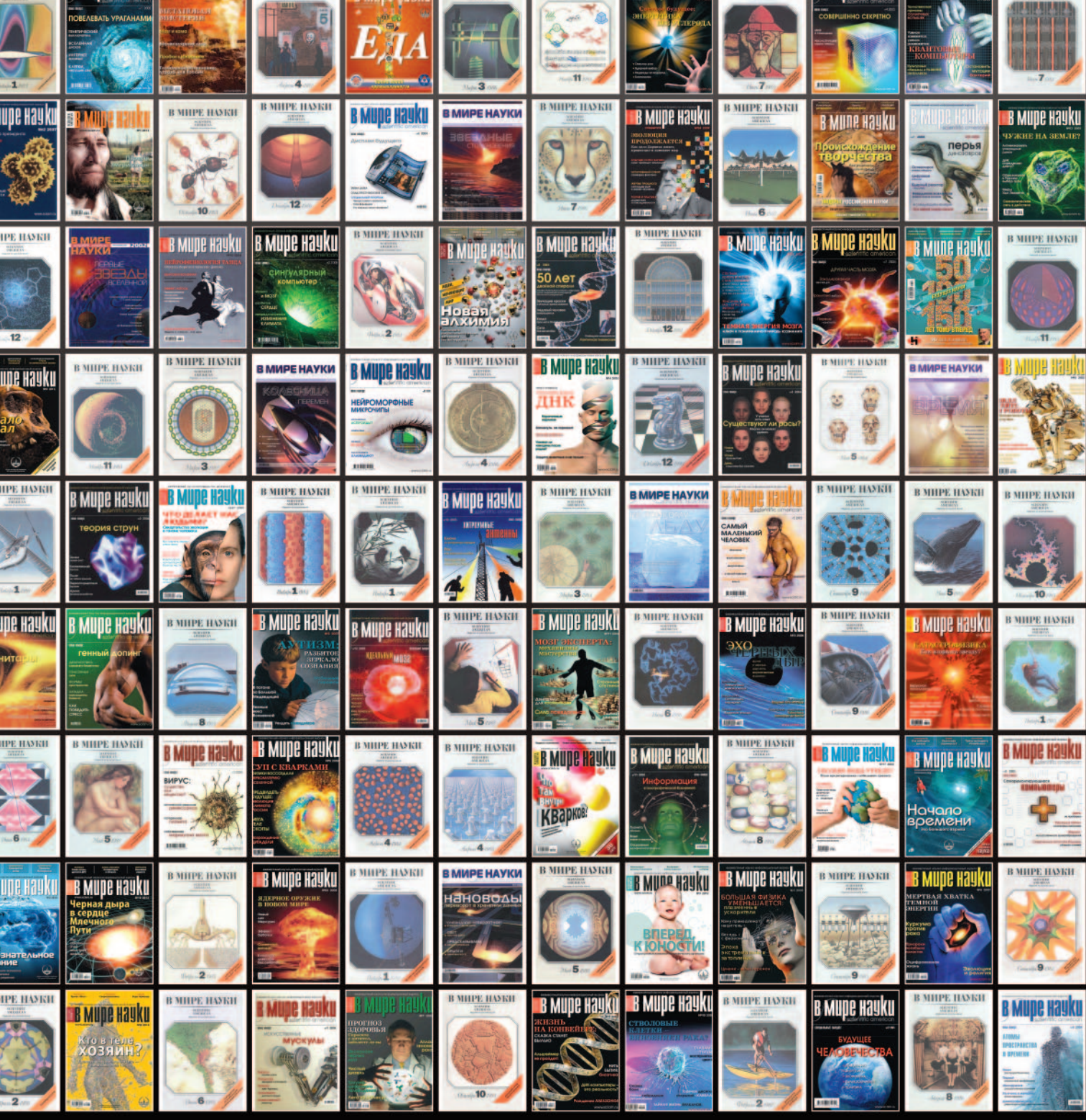
Все мы помним, каким ажиотажем сопровождался запуск БАК в 2008 г. Как это ни смешно звучит сейчас, далекие от физики люди тогда ожидали, что произойдет новый Большой взрыв или образуется черная дыра, которая поглотит видимую реальность. Дэн Браун в романе «Ангелы и демоны» пугал читателей сюжетом о краже антивещества террористами с целью аннигилировать собор Святого Петра. И только жители кантона Женева сохраняли спокойствие. Ведь они давно имеют возможность общаться с учеными напрямую и задавать им любые некомпетентные вопросы, например не пострадают ли в ходе эксперимента их коттеджи и не станут ли их дети и они сами жертвами радиации. «Люди, не знакомые с научными изысканиями, всегда спрашивают, не опасно ли это. К таким вопросам надо относиться серьезно, потому что тем самым они выражают свой интерес», — полагает Хойер.

От гражданской активности и здравого смысла непосредственных соседей лаборатории когда-то зависело будущее современной физики. Вопрос строительства комплекса ускорителей выносился на референдум, и треть жителей кантона Женева тогда высказались против соседства с местом, где разбирают на составные части атом. С тех пор открытость по отношению к общественности стала традицией *CERN*. Посетить этот объект с экскурсией может любой желающий, причем совершенно бесплатно. «У нас много посетителей — по-моему, около 100 тыс. в год». Организованы специальные многодневные курсы для школьных учителей из разных стран мира, разрабатываются образовательные программы для детей начиная с трех лет. Даже для таких малышей есть способ рассказать о устройстве коллайдера доступным способом на основании сюжета популярной игры *Angry Birds*, с разработчиками которой *CERN* недавно заключил соглашение об устройстве тематической игровой площадки.

Сам коллайдер сейчас не функционирует: недавно завершился экспериментальный цикл, и пауза используется для апгрейда оборудования с целью запуска системы в 2015 г. на гораздо более высоких энергиях. Ученым предстоит подробнее изучить свойства бозона Хиггса и идти дальше. «Нам потребовалось около 50 лет, чтобы понять и описать видимую Вселенную. Разве не пора заняться темной Вселенной? Порядка 25% Вселенной — это темная материя. Это определенно следующий шаг. Когда он произойдет? Если повезет, то через два года. Если нет, то через 20 лет, — как настоящий физик-экспериментатор Рольф-Дитер Хойер избегает строить точные прогнозы. — Это уже забота человечества, не моя. Я свою скромную миссию выполнил». ■

Подготовила Ольга Платицина

Видеоверсию интервью смотрите на портале «Научная Россия» (www.sci-ru.org)



Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала «В мире науки» — на сайте издания по адресу: www.sciam.ru/projects/dvd-electronic-catalogue

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN **В мире науки** | АРХИВ

Мозг и медитация

Созерцательные практики, возникшие тысячи лет назад, полезны и уму и телу

Ричард Дэвидсон, Антуан Лутц и Матье Рикар

Illustration by Marcos Chin

ОБ АВТОРАХ

Ричард Дэвидсон (Richard J. Davidson) — директор Вайсмановской лаборатории нейровизуализации и поведения и Центра исследования умственного здоровья в Висконсинском университете в Мадисоне. Первым начал научное изучение медитации.

Антуан Лутц (Antoine Lutz) — научный сотрудник Французского национального института здоровья и медицинских исследований, сотрудник Висконсинского университета в Мадисоне. Возглавлял нейробиологические исследования медитации.

Матье Рикар (Matthieu Ricard) — буддийский монах. Занимался биологией клетки, а затем, около 40 лет назад, покинул Францию и отправился в Гималаи изучать буддизм.

Когда в 2005 г. Нейробиологическое общество позвало Тензина Гьяцо (14-го далай-ламу) на свое ежегодное заседание в Вашингтоне, среди 35 тыс. присутствующих несколько сотен человек требовали отменить приглашение. Они считали, что на научном собрании нет места религиозным лидерам. Но оказалось, что именно он задал собравшимся провокационный и полезный вопрос. Тензин Гьяцо спросил: «Какая может быть связь между буддизмом, древнеиндийскими религиозно-философскими традициями и современной наукой?»

Прежде чем начинать разговор, далай-лама уже успел кое-что сделать для поиска ответа на этот вопрос. В 1980-х гг. он инициировал обсуждение перспектив сотрудничества науки и буддизма, что привело к созданию Института «Ум и жизнь», направленного на изучение медитативных наук. В 2000 г. он поставил перед проектом новую цель, организовав направление «Медитативная нейробиология», и пригласил ученых изучать активность мозга у буддистов, серьезно занимающихся медитацией и имеющих более 10 тыс. часов практики.

За прошедшие 15 лет более 100 буддистов, монахов и мирян, а также большое количество людей, недавно начавших заниматься медитацией, приняли участие в научных экспериментах в Висконсинском университете в Мадисоне и в 19 других университетах. Статья, которую вы сейчас читаете, — результат сотрудничества между двумя нейробиологами и буддийским монахом, первоначально учившимся на биолога.

Сравнив картины активности мозга у людей, медитировавших в своей жизни десятки тысяч часов, и тех, кто занимается этим недавно, мы начали понимать, почему такие методы тренировки сознания могут дать большие когнитивные и эмоциональные преимущества. Цели медитации пересекаются со многими задачами клинической психологии, психиатрии, профилактической медицины и образования. Все большее число исследований

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Медитация встречается в духовных практиках почти всех крупных религий. В последние годы ее начали использовать в светском обществе для успокоения и улучшения самочувствия.
- Три основные формы медитации — концентрация внимания, осознанности и сострадания — используются сейчас повсеместно начиная от больниц и заканчивая школами и все чаще становятся предметом исследования в научных лабораториях по всему миру.
- Во время медитации в мозге происходят физиологические изменения — меняется активность некоторых областей. Кроме того, медитация оказывает хорошее психологическое воздействие: повышается скорость реакции и снижается восприимчивость к различным формам стресса.

Сканирование мозга

РАЗНОВИДНОСТИ МЕДИТАЦИИ

Достижения в области нейровизуализации и других технологий позволили ученым понять, что происходит в мозге при каждой из трех основных форм буддистской медитации — концентрации внимания, осознанности и сострадания. Приведенная ниже схема позволяет увидеть цикл событий, происходящих во время медитации внимания, и активацию соответствующих им областей мозга.

Медитация концентрации внимания

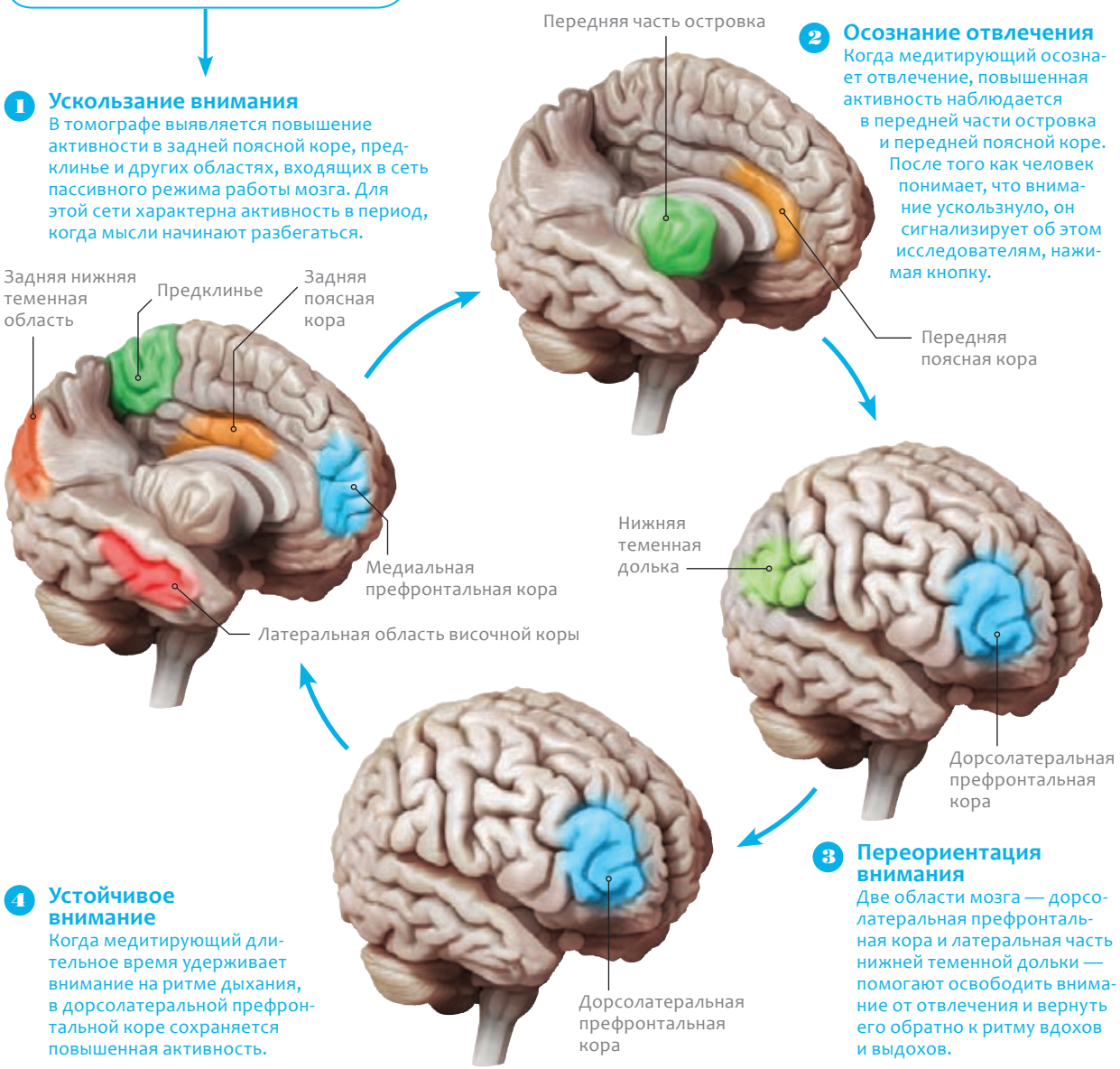
При этом типе медитации обычно требуется сосредоточиться на ритме собственных вдохов и выдохов. Даже у опытных медитирующих внимание может ускользать, и тогда его надо возвращать обратно. В Университете Эмори в результате сканирования мозга были выявлены разные области, вовлеченные в процесс переключения внимания при данном типе медитации.

Медитация осознанности

Ее называют также медитацией свободного восприятия. В процессе медитации человек подвергается воздействию различных аудиальных, визуальных и иных раздражителей, в том числе внутренних ощущений и мыслей, но не дает им увлечь себя. У опытных медитирующих снижается активность в областях мозга, связанных с тревогой, таких как островок и миндалина.

Медитация сопереживания и любящей доброты

При таком типе медитации человек культивирует чувство доброжелательности по отношению к другому человеку независимо от того, друг он или враг. При этом увеличивается активность областей, связанных с представлением себя на месте другого человека, например усиливается активность в височно-теменном узле.



1 Ускользание внимания
В томографе выявляется повышение активности в задней поясной коре, предклинье и других областях, входящих в сеть пассивного режима работы мозга. Для этой сети характерна активность в период, когда мысли начинают разбегаться.

2 Осознание отвлечения
Когда медитирующий осознает отвлечение, повышенная активность наблюдается в передней части островка и передней поясной коре. После того как человек понимает, что внимание ускользнуло, он сигнализирует об этом исследователям, нажимая кнопку.

3 Переориентация внимания
Две области мозга — дорсолатеральная префронтальная кора и латеральная часть нижней теменной дольки — помогают освободить внимание от отвлечения и вернуть его обратно к ритму вдохов и выдохов.

4 Устойчивое внимание
Когда медитирующий длительное время удерживает внимание на ритме дыхания, в дорсолатеральной префронтальной коре сохраняется повышенная активность.

Illustration by David C. Killpack

свидетельствует в пользу того, что медитация может быть эффективна при лечении депрессии, хронических болей и для формирования общего ощущения благополучия.

Открытие преимуществ медитации согласуется с данными, которые были недавно получены нейробиологами, что взрослый мозг сохраняет способность значительно меняться под воздействием опыта. Было показано, что в мозге происходят изменения, когда мы, например, учимся жонглировать или играть на музыкальном инструменте, и такое явление называют нейропластичностью. По мере возрастания мастерства у скрипача увеличиваются области мозга, контролирующие движения пальцев. По-видимому, похожие процессы происходят и при медитации. В окружающей среде ничего не меняется, но медитирующий регулирует свое психическое состояние, создавая внутренний опыт, который влияет на работу и структуру мозга. В результате проводящихся исследований накапливаются доказательства позитивного воздействия медитации на мозг, мышление и даже на весь организм в целом.

Что такое медитация?

Медитация встречается в духовных практиках почти всех крупных религий. СМИ, упоминая о медитации, используют это слово в разных значениях. Мы будем говорить о медитации как о способе развития основных человеческих качеств, таких как устойчивость и ясность ума, душевное равновесие и даже любовь и сострадание, — тех качеств, которые спят, пока человек не приложит усилия для их развития. Кроме того, медитация — это процесс знакомства с более спокойным и гибким образом жизни.

Медитация — достаточно простое занятие, и ею можно заниматься где угодно. Для этого не требуется специального оборудования или формы одежды. Чтобы начать «тренировку», человек должен принять комфортную позу, не очень напряженную, но и не слишком расслабленную, и пожелать изменений в себе, благополучия и облегчения страданий другим людям. Потом необходимо стабилизировать сознание, которое часто бывает неупорядоченно и наполнено потоком внутреннего шума. Чтобы контролировать сознание, его надо избавить от автоматических мыслительных ассоциаций и внутренней рассеянности.

Рассмотрим, что происходит в мозге во время трех распространенных типов медитации, которые пришли из буддизма, а сейчас используются вне религиозного контекста в больницах и школах по всему миру. Первый тип медитации — так называемая медитация концентрация внимания: сознание в текущий момент времени ограничивают и направляют, развивая способность не отвлекаться. Второй тип — медитация осознанности (ясного ума) или свободного восприятия, во время которой человек стремится развить спокойное понимание собственных эмоций, мыслей и чувств, переживаемых им в настоящее время, чтобы не позволить им выйти из-под контроля и довести его до психического расстройства. При этом типе медитации человек сохраняет внимание к любым своим переживаниям, но не фокусируется на чем-то конкретном. И, наконец, третий тип известен в буддистской практике как сострадание и милосердие и способствует альтруистическому отношению к окружающим.

Под наблюдением приборов

Нейробиологи лишь недавно начали изучать явления, происходящие в мозге при различных типах медитации. Венди Хазенкамп (Wendy Hasenkamp) из Университета Эмори вместе с коллегами использовала томографию, чтобы выявить участки мозга, в которых наблюдается повышенная активность концентрации внимания во время медитации. Находясь в томографе, испытуемые сосредоточивались на ощущениях при дыхании. Обычно внимание начинает ускользать, медитирующий должен распознать это и вернуть себе сосредоточенность на ритме вдоха и выдоха. В данном исследовании испытуемый должен был с помощью кнопки подать сигнал о потере внимания. Исследователи определили, что существует цикл из четырех этапов: ускользание внимания, момент осознания отвлечения, переориентация внимания и возобновление сосредоточенного внимания.

На каждом из четырех этапов задействованы разные участки мозга. На первом этапе, когда происходит отвлечение, усиливается активность областей, образующих сеть пассивного режима работы мозга. Она объединяет такие области, как медиальная префронтальная зона коры, задняя поясная кора, предклинье, нижняя теменная долька и латеральная область височной коры. Известно, что данные структуры активны в то время, когда мы «витаем в облаках». Они играют ведущую роль в создании и поддержании внутренней модели мира, основанной на долговременной памяти о себе и окружающих.

На втором этапе, когда осознается отвлечение, активируются другие участки мозга — передняя часть островка и передняя поясная кора (структуры образуют сеть, отвечающую за познавательные и эмоциональные функции). Эти области связаны с субъективно воспринимаемыми чувствами, которые могут, например, способствовать отвлечению во время выполнения задания. Предполагается, что они играют ключевую роль в выявлении новых событий и переключении между разными сетями нейронов во время медитации. Например, они могут вывести мозг из пассивного режима работы.

На третьем этапе вовлекаются дополнительные области, в том числе дорсолатеральная префронтальная кора и нижнелатеральная часть теменной доли, которые возвращают внимание, «отцепляя» его от отвлекающего стимула.

И, наконец, на последнем, четвертом этапе сохраняется высокий уровень активности в дорсолатеральной префронтальной коре, что позволяет удерживать внимание медитирующего на заданной цели, например на дыхании.

В дальнейшем мы наблюдали в нашей лаборатории в Висконсине различия активности мозга в зависимости от опыта испытуемых. Как это ни парадоксально,

Внутренние пути. *В то время как один из соавторов этой статьи Матье Рикар медитирует, активность его мозга регистрируется с помощью электроэнцефалограммы*

JEFF MILLER University of Wisconsin–Madison

но у людей, имевших серьезный опыт медитации (более 10 тыс. часов), по сравнению с новичками наблюдалась меньшая активность в областях, связанных с восстановлением внимания. По мере накопления опыта люди учатся удерживать внимание, затрачивая меньше усилий. Похожее явление наблюдается у профессиональных музыкантов и спортсменов, выполняющих действия автоматически с минимальным сознательным контролем.

Кроме того, для исследования влияния медитации, связанной с концентрацией внимания, мы изучали добровольцев до и после трехмесячного периода интенсивных занятий как минимум по восемь часов в день. Им выдавали наушники, из которых раздавались звуки определенной частоты, а иногда — чуть более высокие звуки. На протяжении десяти минут люди должны были сосредоточиться на звуках и реагировать на возникающий более высокий тон. Оказалось, что у людей после периода длительных медитаций было меньше различий в скорости реакции от раза к разу по сравнению с теми, кто не занимался медитацией. Это означает, что после длительных тренировок сознания человек лучше сохраняет внимание и реже отвлекается. У людей с опытом медитации электрическая активность в ответ на высокие звуки была более стабильной.

Поток сознания

Во второй, тоже хорошо изученной форме медитации участвует другой тип внимания. При медитации осознанности, или свободного восприятия, медитирующий должен замечать все взгляды или звуки и отслеживать свои ощущения, а также внутренний диалог. Человек остается в курсе происходящего, не фокусируясь на каком-то одном чувстве или одной мысли, и возвращает себя к этому отстраненному восприятию, как только сознание начинает блуждать. В результате таких упражнений обычные повседневные раздражающие события — агрессивный коллега на работе, назойливый ребенок дома — теряют разрушающее действие и развивается ощущение психологического благополучия.

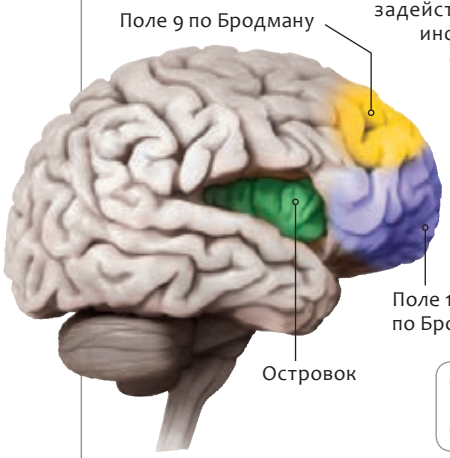
Вместе с Хелен Слагтер (Heleen Slagter), работавшей с нами в Висконсине, мы захотели разобраться в том, как такой вид занятий меняет восприятие. Мы оценивали, как медитация осознанности влияет на способность замечать быстро предъявляемые зрительные стимулы. Участники эксперимента должны были заметить два числа, которые быстро мелькали на экране среди череды букв. Если второе число возникало спустя 300 миллисекунд после первого, люди часто не замечали второго. Такое явление называют миганием внимания. Если второе число возникает через 600 миллисекунд, обычно проблем с тем, чтобы его заметить, не возникает. Мигание внимания возникает из-за того, что мозгу сложно анализировать два стимула, предъявляемых с маленьким интервалом. Если на первый стимул направлено слишком много внимания, то второй обычно не замечают, хотя во время некоторых предъявлений наблюдатель его видит. Мы предположили, что занятия медитацией могут уменьшить склонность «застревать» на первом стимуле. При медитации осознанности люди учатся видеть и не реагировать, и в результате может снизиться вероятность мигания внимания. И действительно: оказалось, что после трех месяцев интенсивных занятий медитацией люди замечали оба числа чаще, чем представители контрольной группы. Улучшение восприятия отразилось также и в ослаблении реакции мозга на первое число. В результате наблюдений за электрической активностью мозга, а именно за амплитудой *P3b*-компонента вызванного потенциала, которая позволяет оценить распределение внимания, выяснилось, что люди, занимающиеся медитацией, могут оптимизировать свое внимание таким образом, чтобы свести к минимуму эффект мигания.

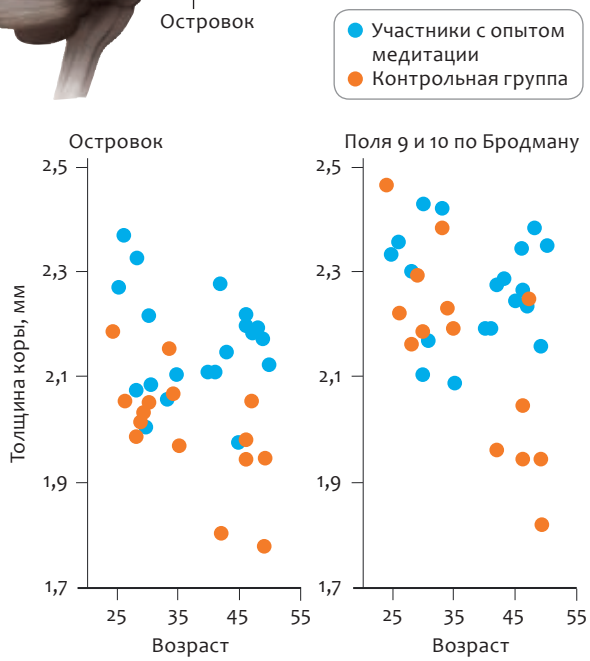
Осознание неприятных ощущений позволяет уменьшить неадаптивные эмоциональные реакции, помогает преодолеть неприятные ощущения и может быть особенно полезным для борьбы с болью. В нашей лаборатории в Висконсине мы изучали людей, имеющих большой

Польза от медитации

МОЗГ РАСТЕТ

Исследователи из нескольких университетов изучали способность медитации вызывать структурные изменения в тканях головного мозга. С помощью МРТ удалось показать, что у 20 человек с большим опытом буддистской медитации объем ткани в некоторых областях префронтальной коры (поля 9 и 10 по Бродману) и в островковой доле больше по сравнению с мозгом людей из контрольной группы *(графики)*. Эти области задействованы в обработке информации, связанной со вниманием, внутренними ощущениями и сенсорными сигналами. Для подтверждения данных требуются дальнейшие долговременные исследования.





опыт медитации, в то время как они занимались сложной формой медитации осознанности, называемой открытым присутствием. При такой разновидности медитации, которую еще иногда называют чистым восприятием, сознание спокойно и расслаблено, ни на чем не сосредоточено, но при этом сохраняется живая ясность ума без возбуждения или заторможенности. Медитирующий наблюдает, не пытаясь интерпретировать, изменить, избавиться или проигнорировать болезненные ощущения. Мы обнаружили, что при медитации интенсивность боли не снижается, но это беспокоит медитирующего меньше, чем людей из контрольной группы.

По сравнению с новичками у людей, имеющих большой опыт медитации, в период перед болевым воздействием наблюдалась меньшая активность в областях мозга, связанных с тревожностью, — островке и миндалине. При повторных болевых воздействиях в мозге опытных медитирующих в областях, связанных с болью, наблюдалось более быстрое привыкание, чем у новичков. В других тестах, проведенных в нашей лаборатории, было показано, что тренировки сознания повышают способность контролировать и смягчать основные физиологические реакции, например воспаление или выделение гормонов в социальных стрессовых ситуациях, таких как публичное выступление или устный счет перед лицом строгой комиссии.

В нескольких исследованиях показано, что медитация осознанности благотворно влияет при симптомах тревожности или депрессии, а также улучшает сон. Получив возможность сознательно наблюдать и отслеживать свои мысли и эмоции, пациенты с депрессией могут использовать медитацию в тревожных ситуациях для управления спонтанно возникающими и навязчивыми негативными мыслями и чувствами. Клинические психологи Джон Тисдейл (John Teasdale), работавший в Кембриджском университете, и Зиндел Сигал (Zindel Segal) из Торонтского университета в 2000 г. показали, что у пациентов, которые ранее пережили не менее трех периодов депрессии, после шести месяцев занятий медитацией осознанности в сочетании с когнитивной психотерапией риск рецидива в течение года снижается примерно на 40%. Позже Сегал показал, что медитация действует лучше, чем плацебо, и по эффективности сопоставима со стандартными способами антидепрессивной терапии.

Сострадание и милосердие

Третий тип медитации развивает чувства сострадания и милосердия по отношению к людям. Вначале медитирующий осознает потребности другого человека, затем испытывает искреннее желание помочь или облегчить страдания других людей, защищая их от их собственного деструктивного поведения.

Войдя в состояние сострадания, медитирующий иногда начинает испытывать те же чувства, что и другой человек. Но для формирования сострадательного состояния недостаточно наличия просто эмоционального резонанса с чувствами другого. Должно еще быть бескорыстное желание помочь тому, кто страдает. Эта форма медитации, направленная на любовь и сопереживание, больше, чем просто духовное упражнение. Показано, что она помогает сохранить здоровье социальным работникам, учителям и другим людям, имеющим риск эмоционального выгорания из-за переживаний, которые они испытывают, глубоко сочувствуя проблемам других людей.

Медитация начинается с того, что человек фокусируется на безусловной доброжелательности и любви к другим и молча повторяет про себя пожелание, например: «Пусть все живые существа найдут свое счастье и освободятся от страданий». В 2008 г. мы изучали активность мозга людей, занимавшихся этим видом медитации

SOURCE: "MEDITATION EXPERIENCE IS ASSOCIATED WITH INCREASED CORTICAL THICKNESS," BY SARA W. LAZAR ET AL., IN NEUROREPORT, VOL. 16, NO. 17; NOVEMBER 28, 2005

тысячи часов. Мы давали им прослушать голоса страдающих и обнаружили у них увеличенную активность некоторых областей мозга. Известно, что в эмпатии и других эмоциональных реакциях задействованы вторичная соматосенсорная кора и островок. При прослушивании страдающих голосов у опытных медитирующих по сравнению с контрольной группой данные структуры активизировались сильнее. Это означает, что они лучше разделяли чужие чувства, не испытывая эмоциональной перегруженности. У опытных медитирующих также наблюдалась повышенная активность в височно-теменном узле, медиальной префронтальной коре и области передней височной борозды. Все эти структуры обычно активируются, когда мы мысленно ставим себя на место другого человека.

Недавно Таня Зингер (Tania Singer) и Ольга Климецки (Olga Klimecki) из Института человеческой когнитологии и науки о мозге Общества им. Макса Планка вместе с одним из авторов этой статьи (Матье Рикаром) попытались выявить различия между обычной эмпатией и состраданием у медитирующего. Они показали, что сопереживание и альтруистическая любовь связаны с положительными эмоциями, и предположили, что эмоциональное истощение или выгорание представляет собой, по сути, «утомление» эмпатии.

В соответствии с буддистскими традициями созерцания, от которых пошла эта практика, сострадание не должно вызывать утомления и уныния, оно укрепляет внутреннее равновесие, силу духа и придает решимости помочь страдающим. Когда ребенок попадает в больницу, мать принесет больше пользы, если будет держать его за руку и успокаивать нежными словами, чем если, перегруженная эмпатией и тревогой, не вынеся вида больного ребенка, будет метаться взад-вперед по коридору. В последнем случае дело может кончиться выгоранием, от которого, согласно проведенным в США исследованиям, страдали примерно 60% из 600 опрошенных людей, ухаживавших за больными.

Для дальнейшего изучения механизмов эмпатии и сострадания Климецки и Зингер разделили около 60 добровольцев на две группы. У участников первой группы медитация была связана с любовью и состраданием, в другой группе развивали чувство эмпатии к окружающим. Как показали предварительные результаты, неделя медитации, основанной на любящей доброте и сострадании, привела к тому, что участники, хоть и не имевшие ранее опыта, испытывали больше доброжелательных чувств во время просмотра видеозаписи со страдающими людьми. Участники из другой группы, которые в течение недели только тренировались в эмпатии, переживали те же эмоции, что и страдающие люди на видео. Эти эмоции вызывали негативные чувства и мысли, и участники из этой группы испытывали сильный стресс.

Выявив такие разрушительные последствия, Зингер и Климецки провели со второй группой занятия медитацией сострадания. Оказалось, что дополнительные занятия снизили негативные последствия тренировки эмпатии: количество отрицательных эмоций снизилось, а доброжелательных — возросло. Это сопровождалось соответствующими изменениями в областях мозга, связанных с сочувствием, положительными эмоциями и материнской любовью, в том числе в орбитофронтальной коре, вентральном стриатуме и передней цингулярной коре. Кроме того, исследователи показали, что тренировка сострадания в течение недели усиливала просоциальное поведение в компьютерной игре, специально разработанной для оценки желания помочь окружающим.

Медитация не только вызывает изменения определенных когнитивных и эмоциональных процессов, но и способствует увеличению некоторых участков мозга. Исследование показало, что у людей с большим опытом медитации увеличился объем серого вещества в островковой доле и в префронтальной коре

Двери сознания

Медитация помогает изучать природу мышления, давая человеку возможность самому исследовать свои сознание и психическое состояние. В Висконсине мы изучали электрическую активность мозга у буддистов, имеющих большой опыт медитации, записывая электроэнцефалограмму (ЭЭГ) во время медитации сострадания.

Оказалось, что опытные буддисты могли произвольно поддерживать состояние, характеризующееся определенным ритмом электрической активности мозга, а именно высокоамплитудные гамма-колебания с частотой 25–42 Гц. Такая координация электрической активности мозга может иметь большое значение для создания временных нервных сетей, объединяющих когнитивные и эмоциональные функции в процессе обучения и осознанного восприятия, что может привести к долговременным изменениям в мозге.

На протяжении медитации высокоамплитудные колебания продолжались в течение нескольких десятков секунд, причем их было тем больше, чем больше был опыт медитирующего. В первую очередь такие особенности

ЭЭГ были выражены в латеральной области лобно-теменной части коры. Они могут отражать у людей повышение осведомленности об окружающей среде и внутренних мыслительных процессах, однако для понимания роли гамма-ритма требуются дополнительные исследования.

Медитация не только вызывает изменения определенных когнитивных и эмоциональных процессов, но и способствует увеличению некоторых участков мозга. Предположительно это вызвано увеличением числа связей между нейронами. Предварительное исследование, проведенное Сарой Лазар (Sara Lazar) с коллегами из Гарвардского университета, показало, что у людей с большим опытом медитации увеличился объем серого вещества в островковой доле и в префронтальной коре, а конкретнее в полях 9 и 10 по Бродману, которые часто активируются при различных формах медитации. Такие различия были наиболее выражены у пожилых участников исследования. Предполагается, что медитация может замедлять скорость истончения мозговой ткани, происходящего с возрастом.

В дальнейшей работе Лазар с коллегами показали, что у тех испытуемых, у кого в результате занятий медитацией осознанности сильнее всего снизилась реакция стресса, уменьшился также и объем миндалины — области мозга, участвующий в формировании страха. Позже Эйлин Людерс (Eileen Luders) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе вместе с коллегами обнаружила, что медитирующие отличаются количеством аксонов — волокон, соединяющих разные участки мозга. Предполагается, что это связано с повышением количества соединений в мозге. Такое наблюдение свидетельствует в пользу предположения, что занятия медитацией действительно вызывают структурные изменения в мозге. Важный недостаток этих работ — отсутствие долгосрочных исследований, в которых люди наблюдались бы на протяжении многих лет, и отсутствие сравнительных исследований людей одного возраста и схожей биографии, которые различались бы только тем, медитируют они или нет.

Существуют даже такие данные, что медитация и способность с ее помощью улучшать собственное состояние могут снижать воспаление и другие биологические реакции, происходящие на молекулярном уровне. Как было показано в исследовании, проведенном совместно нашей группой и группой под руководством Перлы Калиман (Perla Kaliman) из Института биомедицинских исследований в Барселоне, для опытного медитирующего достаточно одного дня интенсивной медитации осознанности, чтобы снизить активность генов, связанных с воспалительной реакцией, и повлиять на работу белков, активирующих эти гены. Клифф Сарон (Cliff Saron) из Калифорнийского университета в Дэвисе изучал влияние медитации на молекулу, участвующую в регуляции продолжительности жизни клетки. Эта молекула — фермент теломераза, удлиняющий ДНК на концах хромосом. Концы хромосом, называемые теломерами, обеспечивают сохранность генетического материала во время деления клетки. Во время каждого деления теломеры укорачиваются, и когда их длина снижается до критической величины, клетка прекращает делиться и постепенно стареет. По сравнению с контрольной группой у медитирующих более эффективно снижался психологический стресс и наблюдалась более высокая теломеразная активность. Иногда занятия медитацией осознанности могут замедлять процессы клеточного старения.

Путь к благополучию

За 15 лет исследований удалось показать, что продолжительные занятия медитацией не только значительно меняют структуру и работу мозга, но и существенно влияют на биологические процессы, критически важные для физического здоровья.

Необходимы дальнейшие исследования с использованием четких рандомизированных контролируемых испытаний, чтобы отделить эффекты, вызванные медитацией, от связанных с другими психологическими факторами, которые также могут влиять на результаты исследований. Это, например, уровень мотивации медитирующих и роли, которые играют учителя и ученики в группе медитирующих. Дальнейшие исследования необходимы и для выяснения возможного негативного побочного эффекта от медитации, желательной продолжительности занятий и способов их адаптации к нуждам конкретного человека.

Но и с учетом всех предосторожностей очевидно, что в результате исследований медитации мы получили новое понимание методов психологической подготовки, которые потенциально могут улучшить здоровье и благополучие человека. Не менее важно, что способность развивать сострадание и другие положительные человеческие качества закладывает основу для создания этических норм, не привязанных к какой-либо философии или религии. Это может глубоко и благотворно влиять на все аспекты человеческого общества. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Happiness: A Guide to Developing Life's Most Important Skill. Mathieu Ricard. Little, Brown, 2006.
- Mental Training Enhances Attentional Stability: Neural and Behavioral Evidence. Antoine Lutz et al. in Journal of Neuroscience. Vol. 29, No. 42, pages 13,418–13,427; October 21, 2009.
- Mind Wandering and Attention during Focused Meditation: A Fine-Grained Temporal Analysis of Fluctuating Cognitive States. Wendy Hasenkamp et al. in NeuroImage, Vol. 59, No. 1, pages 750–760; January 2, 2012.

АГРЕССИВНАЯ СРЕДА

НАУКА 2.0
ТЕЛЕКАНАЛ

Несмотря на внешнюю беззащитность...

... я способна справиться с ***«АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ»***

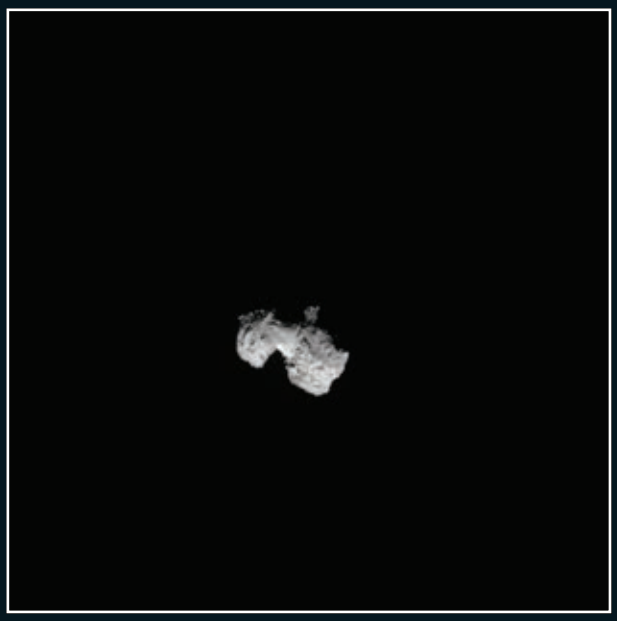
Александра Говорченко

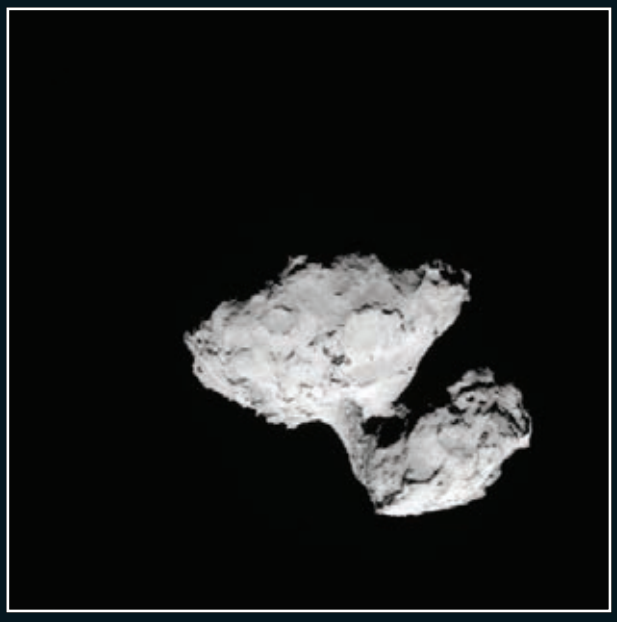
Автор и ведущая программы «Агрессивная среда»

Спрашивайте у операторов платного телевидения

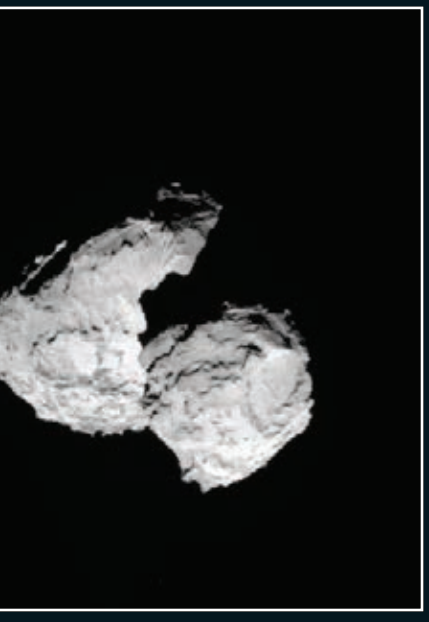
www.naukatv.ru www.facebook.com/nauka20

16+





По мере приближения к комете 67P / Чурюмова — Герасименко космический зонд «Розетта» сделал серию снимков исследуемого объекта с прогрессирующей детализацией



Майкл Лемоник

Плутон и то, что за ним

Впервые космический аппарат с близкого расстояния рассмотрит кометы, астероиды и карликовые планеты далекого пояса Койпера. Два зонда должны поведать нам о том, как зародилась Солнечная система

ОБ АВТОРЕ

Майкл Лемоник (Michael D. Lemonick) — автор статей для некоммерческого новостного сайта «Центральное климатическое бюро» *(Climate Central)*. Не так давно вышла его книга «Земля в зеркале: поиски близнеца нашей планеты» *(Mirror Earth: The Search for Our Planet's Twin, 2012)*. В течение 21 года он писал о науке для журнала *Time*.

День 20 января 2014 г. должен был стать либо очень удачным, либо черным для всех, кто работал с космическим зондом «Розетта». 3000-килограммовый космический робот был запущен Европейским космическим агентством почти за десять лет до этого и находился в пути к августовскому рандеву с плохо различимой кометой, носящей труднопроизносимое для американцев имя *67P* / Чурюмова — Герасименко (в дальнейшем *67P*). Если бы все пошло по плану, «Розетта» сделала бы то, чего не удавалось ранее никому: орбита зонда должна была замкнуться в очень близкое к комете кольцо, его спускаемый аппарат под названием «Филы» *(в честь острова Филы (Филэ) посреди Нила, центра культа Исиды, жены и сестры Осириса. — Примеч. пер.)* должен был спуститься на ее поверхность, а тень от него должна была заслонить часть замерзшего тела кометы, когда та начнет оживать, согреваемая солнечным теплом.

Но прежде «Розетта» должна была проснуться. Более чем за два года ее ввели в энергосберегающее состояние «летаргического сна». Ее внутренний будильник должен был прозвенеть 20 января в 11 часов утра по центральноевропейскому времени. Ученые и инженеры, ожидавшие этого события в зале управления Европейского центра управления космическими полетами в Дармштадте (Германия), были уверены, что сообщение об этом придет, как и было запланировано. Но они не забывали историю с зондом «Марсианский наблюдатель» *(Mars Observer)*, радиоконтакт с которым полностью прервался в 1993 г. В течение нескольких минут казалось, что это может вновь повториться.

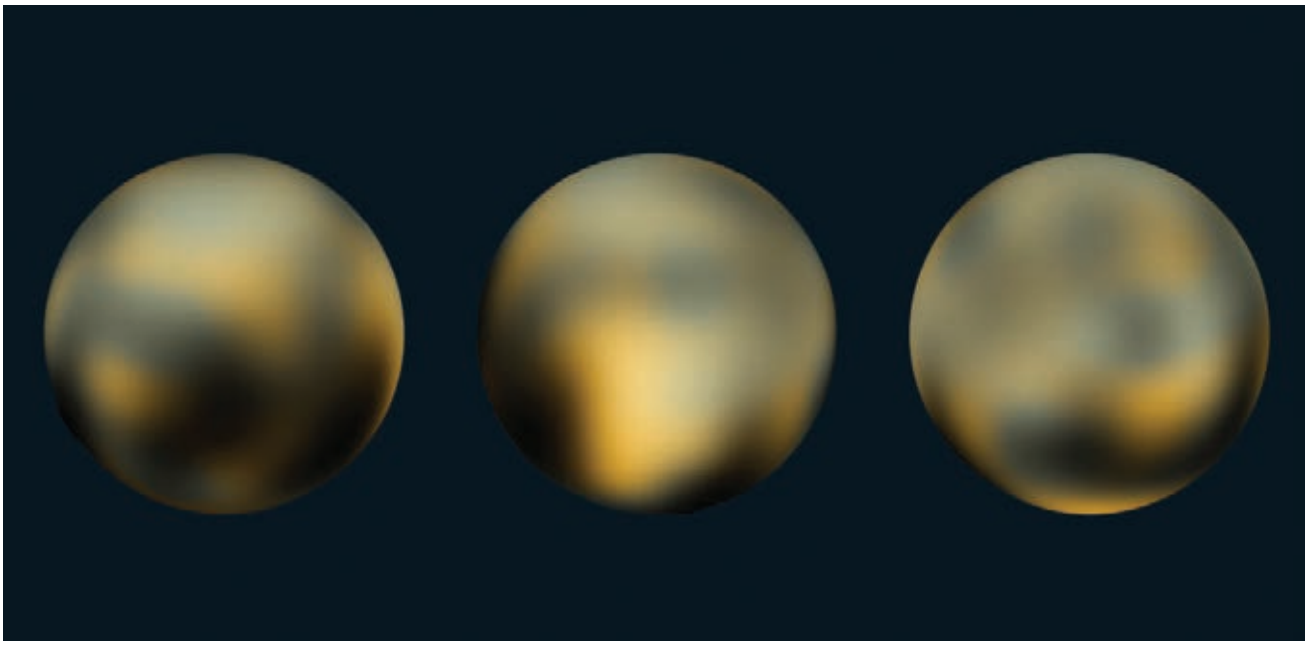
«Я видел в зале множество бледных от волнения лиц», — вспоминает Хольгер Зиркс (Holger Sierks) из Института исследований Солнечной системы Общества им. Макса Планка (Геттинген, Германия), который управляет оптическими и инфракрасными камерами космического аппарата. Казалось, это длится целую вечность, хотя прошло всего минут 15 — и вот, наконец, первый радиосигнал из области, расположенной за Юпитером, достиг Дармштадта. «Он сообщил: "А вот и снова я", — говорит Зиркс, — и это стало для нас огромным облегчением».

В последующие недели стало ясно, что «Розетта» не просто проснулась, а полностью функциональна и готова ответить на ключевые вопросы о структуре,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Пояс Койпера — это лента из миллиардов ледяных астероидов за орбитой Нептуна, которые представляют собой практически нетронутые образцы исходных компонентов Солнечной системы.
- Два космических аппарата направляются туда с задачей раскрыть секреты пояса. Один, получивший имя «Розетта», вышел на орбиту вокруг кометы, которая зародилась в поясе Койпера. Другой, «Новые горизонты», находится на пути к Плутону, самому крупному обитателю этой области.
- Изучение состава пояса Койпера этими двумя космическими экспедициями, возможно, даст нам ключ к загадке возникновения Солнечной системы.

PRECEDING PAGES: COURTESY OF ESA, ROSETTA AND NAVCAM



Размытый взгляд. *Поверхность Плутона, запечатленная космическим телескопом «Хаббл», изменяется очень сильно: на центральном фото появляется загадочное яркое пятно. Зонд «Новые горизонты», когда он приблизится к карликовой планете в следующем году, должен сфотографировать Плутон с гораздо большим разрешением.*

составе, свойствах и происхождении комет — ледяных космических тел, которые остались практически в неизменном виде с момента образования Солнечной системы около 4,6 млрд лет. В конце текущего месяца «Розетта» освободит свой посадочный модуль, который пробурит породу, лежащую под поверхностью кометы, чтобы извлечь оттуда саму историю Солнечной системы.

Однако же «Розетта» там не одинока. В июле 2015 г. после девятилетнего путешествия зонд *NASA* «Новые горизонты» *(New Horizons)* выполнит еще одну пионерскую работу: совершит близкий облет Плутона и пяти его спутников. «Космический аппарат находится в удивительно хорошем состоянии», — сообщает научный руководитель программы Алан Стерн (Alan Stern) из Юго-Западного научно-исследовательского института в Боулдере (штат Колорадо). И хотя две эти космические экспедиции независимы, нельзя сказать, что они не связаны друг с другом. На сегодня астрономы пришли к пониманию, что Плутон и *67P* — это члены пояса Койпера, огромного роя из миллиардов большей частью неучтенных небесных тел размером от нескольких метров до более чем 2 тыс. км в поперечнике, расположенных за орбитой Нептуна.

Эти экспедиции станут завершением серии открытий последних двух десятилетий, которые, по словам Стерна, «распахнули настежь двери и в буквальном смысле переписали заново все, что, как нам казалось, мы знали об архитектуре Солнечной системы». Немногим более 20 лет назад фактически никто даже не подозревал о существовании пояса Койпера. С тех пор планетологи обнаружили несколько ледяных планет, по размерам приближающихся к Плутону и даже соперничающих с ним в этом. Они нашли свидетельства, указывающие на случившуюся давным-давно перегруппировку орбит Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна — а может быть, даже на существование утраченной пятой гигантской планеты. Они проанализировали размеры и орбиты примерно 1,5 тыс. известных объектов пояса Койпера (ОПК), чтобы подобрать ключ к загадке, как сам пояс получил нынешние очертания, и высказать предположение: а не мог ли ужасный ледопад с зарождающегося пояса Койпера даровать когда-то молодой, измученной жаждой Земле океаны?

Каждое из этих наблюдений послужило узкой щелью, проливающей свет на происхождение и эволюцию пояса Койпера. Однако же вместе, как в притче о слепцах и слоне, они начали рисовать более полную картину его структуры, состава и эволюции. И с двумя космическими аппаратами, впервые в истории готовящимися к встрече с двумя сильно отличающимися друг от друга ОПК, эта картина вот-вот должна стать существенно четче.

Заново открытый

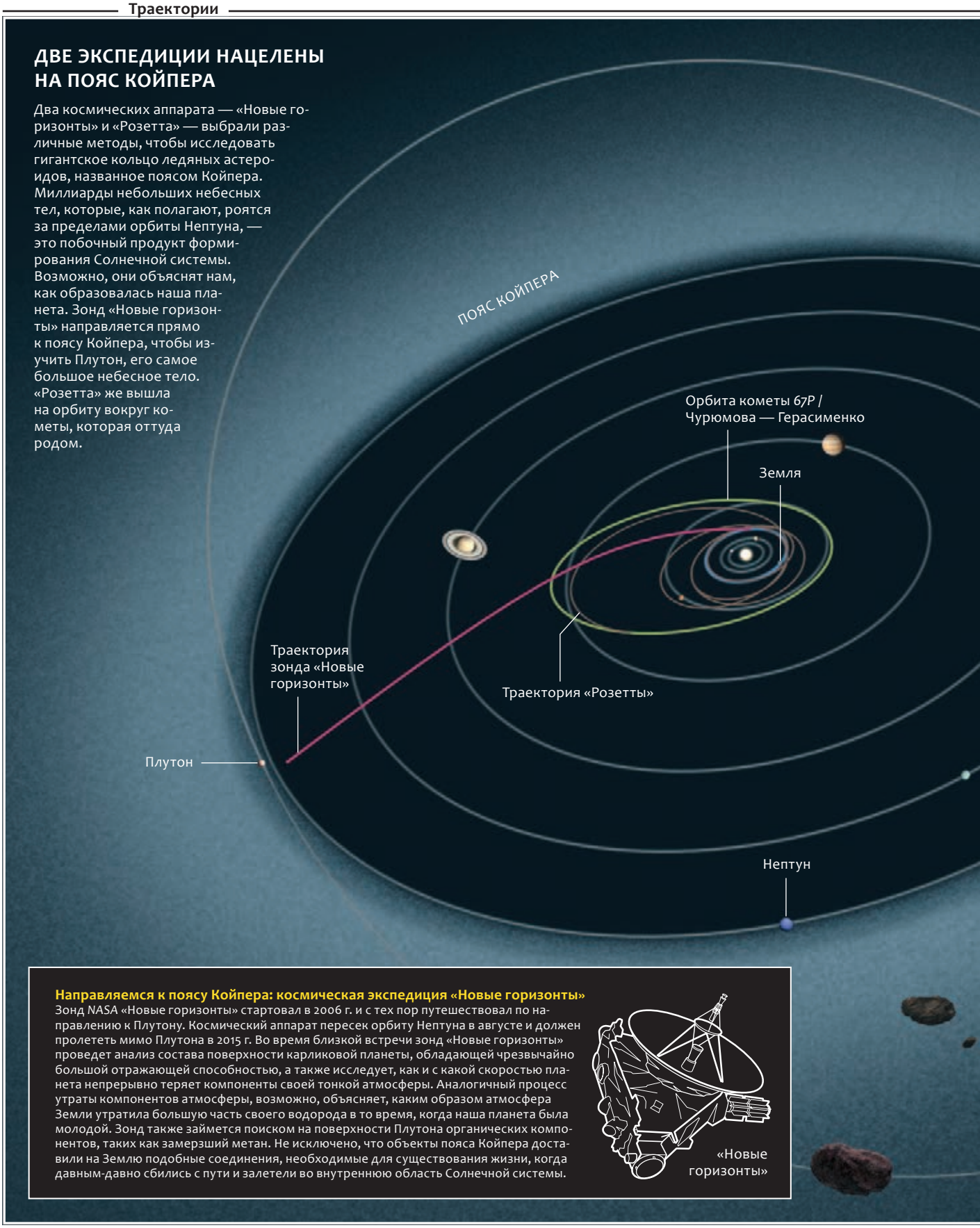
Когда в 1930 г. молодой астроном Клайд Томбо (Clyde Tombaugh) разглядел новое небесное тело за орбитой Нептуна, ни у него, ни у остальных астрономов не было никаких сомнений в том, что обнаружена «планета X», давно разыскиваемая девятая планета Солнечной системы. Первоначально масса нового объекта, названного по предложению 11-летней британской школьницы Венеции Берни (Venetia Burney) Плутоном, была оценена как примерно равная массе Земли. Однако к 1970-х гг. стало ясно, что размерами Плутон намного скромнее и имеет даже меньшую массу, чем наша Луна. То, что на самом деле обнаружил Томбо, было самым ярким небесным телом из пояса Койпера.

COURTESY OF NASA, ESA AND M. BUIE Southwest Research Institute

Траектории

ДВЕ ЭКСПЕДИЦИИ НАЦЕЛЕНЫ НА ПОЯС КОЙПЕРА

Два космических аппарата — «Новые горизонты» и «Розетта» — выбрали различные методы, чтобы исследовать гигантское кольцо ледяных астероидов, названное поясом Койпера. Миллиарды небольших небесных тел, которые, как полагают, роятся за пределами орбиты Нептуна, — это побочный продукт формирования Солнечной системы. Возможно, они объяснят нам, как образовалась наша планета. Зонд «Новые горизонты» направляется прямо к поясу Койпера, чтобы изучить Плутон, его самое большое небесное тело. «Розетта» же вышла на орбиту вокруг кометы, которая оттуда родом.



Направляемся к поясу Койпера: космическая экспедиция «Новые горизонты»

Зонд NASA «Новые горизонты» стартовал в 2006 г. и с тех пор путешествовал по направлению к Плутону. Космический аппарат пересек орбиту Нептуна в августе и должен пролететь мимо Плутона в 2015 г. Во время близкой встречи зонд «Новые горизонты» проведет анализ состава поверхности карликовой планеты, обладающей чрезвычайно большой отражающей способностью, а также исследует, как и с какой скоростью планета непрерывно теряет компоненты своей тонкой атмосферы. Аналогичный процесс утраты компонентов атмосферы, возможно, объясняет, каким образом атмосфера Земли утратила большую часть своего водорода в то время, когда наша планета была молодой. Зонд также займется поиском на поверхности Плутона органических компонентов, таких как замерзший метан. Не исключено, что объекты пояса Койпера доставили на Землю подобные соединения, необходимые для существования жизни, когда давным-давно сбились с пути и залетели во внутреннюю область Солнечной системы.

Illustrations by Don Dixon (solar system) and George Retseck (spacecraft)

Пояс Койпера идет к нам: «Розетта» рассматривает комету 67P
После десяти лет полета космический аппарат Европейского космического агентства «Розетта» прибыл к комете *67P* / Чурюмова — Герасименко в августе. Считается, что комета *67P*, как и большинство комет этой области, образовалась в поясе Койпера. Когда-то давным-давно столкновение или гравитационное притяжение со стороны другого небесного тела, вероятно, отбросило ее во внутреннюю область Солнечной системы. «Розетта» будет совершать облет кометы *67P*, когда та приблизится на минимальное расстояние к Солнцу и ее замерзшая поверхность начнет таять, образуя сияющий хвост. В ноябре 2014 г. «Розетта» выпустит свой посадочный модуль «Филы», который опустится на поверхность кометы, сделает фотографии с ее поверхности и проведет анализ ее компонентов непосредственно на месте.

Объекты не в масштабе

Однако до 1980-х гг. никто даже не предполагал существования такого объекта, как пояс Койпера, в том числе и сам Джерард Койпер (Gerard P. Kuiper), американский астроном голландского происхождения, чье имя носит пояс. В 1950-х гг. Койпер выдвинул идею, что область, расположенная сразу же за Нептуном, когда-то, возможно, была усеяна ледяными глыбами. Но он полагал, что гравитация «массивного» Плутона разбросала их в глубины космоса. Эта часть Солнечной системы, писал он, в основном, должно быть, пуста. «Это, по сути, было антипредсказанием», — замечает астроном Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Дэвид Джуит (David C. Jewitt), пионер в наблюдении внешней области Солнечной системы.

Примерно в то же самое время соотечественник Койпера Ян Оорт (Jan Oort) высказал гипотезу, что эти широко разбросанные объекты, вероятно, образовали сферическое облако протокомет, обращающихся по орбитам, уходящим на расстояние почти в световой год от Солнца. Время от времени, предположил он, одна из них освобождается и падает во внутреннюю область Солнечной системы, где получает новую жизнь как комета. Такой сценарий элегантно объясняет существование комет с большим периодом обращения, которые летят к нам по всем направлениям и чей полный виток по орбите занимает не менее 200 лет.

Но это никак не объясняет кометы с коротким периодом обращения, орбиты которых стремятся сосредоточиться близко к плоскости, где расположены планеты. Оорт полагал, что они — просто те же бывшие кометы с большим периодом, орбиты которых изменились в результате близкой встречи с планетами-гигантами, и ни у кого не возникло идеи получше. Или почти ни у кого: еще в 1940-х гг. ирландский астроном Кеннет Эджворт (Kenneth Edgeworth) предположил, что кометы с коротким периодом обращения образовались из скопления небольших тел, чей дом расположен гораздо ближе. Но его предположение было сделано между делом и имело весьма общий характер. «Если вы считаете, что это тянет на предсказание, оставайтесь при своем мнении», — говорит Майкл Браун (Michael E. Brown), астроном из Калифорнийского технологического института, чье открытие в 2005 г. Эриды, ОПК размером с Плутон, привело на следующий год к понижению Плутона в табели о рангах до статуса «карликовой планеты». Браун, очевидно, так не считает, и как бы то ни было, никто в то время не придавал идее Эджворта должного значения.

Первое подлинное предсказание существования пояса Койпера, с чем согласны сегодня большинство планетологов, было сделано уругвайским астрономом Хулио Фернандесом (Julio Fernández). Его статья 1980 г. «О существовании пояса комет за орбитой Нептуна» утверждала то же самое, что некогда предположил Эджворт, но в гораздо более подробных деталях. В 1988 г. Скот Тремейн (Scott Tremaine), работавший в то время в Университете Торонто, вместе со своими коллегами Мартином Дунканом (Martin Duncan) и Томасом Куином (Thomas Quinn) показал, что существование роя небесных тел, который предсказал Фернандес, фактически позволяет

объяснить частоту и траектории комет с коротким периодом обращения. Они первыми использовали термин «пояс Койпера», хотя, по мнению Тремейна, в настоящее время работающего в Институте передовых исследований в Принстоне (штат Нью-Джерси), «вероятно, это неправильный термин. По правде говоря, нам следовало бы назвать его именем Фернандеса».

В то время как Тремейн, Дункан и Куин сколачивали теоретический каркас пояса Койпера, Джуит и Джейн Лу (Jane X. Luu), в то время студентка Массачусетского технологического института, занялись поиском убедительных доказательств. Их исследование шло независимо от предсказания: Джуит и Лу не знали о статье Фернандеса и начали свою работу в 1986 г., за два года до публикации Тремейном и его коллегами своих результатов. «Нас поддерживала и побуждала к работе, — рассказывает Джуит, — простая идея, что было бы очень странно, если бы внешняя область Солнечной системы оказалась настолько пустой».

Конечно же, она не пустая. В августе 1992 г., используя 2,2-метровый телескоп, расположенный на вершине потухшего вулкана Мауна-Кеа на острове Гавайи, Джуит и Лу в рамках работы, названной ими «Обзор медленно движущихся объектов» обнаружили первый объект пояса Койпера, 1992 *QB1*. Второй ОПК они отследили спустя шесть месяцев, и, несмотря на то что Джуит и Лу были практически единственными, кто занимался тогда их поиском, «астрономическое сообщество быстро сообразило, что к чему», — замечает Джуит. К настоящему времени астрономы выявили около 1,5 тыс. ОПК; на основании этих данных они оценили, что пояс Койпера дал прибежище 100 тыс. объектам более 100 км в поперечнике и до 10 млрд размером более 2 км. «Для каждого астероида в главном поясе астероидов, — утверждает Джуит, — существует 1 тыс. объектов в поясе Койпера, и это поразительно».

Однако многие астрономы еще в большей степени были шокированы тем, чего нет в поясе Койпера. Согласно их лучшим моделям формирования планет, он должен буквально кишеть объектами размером с Землю и даже больше. И в то время как к Плутону присоединились небесные тела, равные ему по размерам, такие объекты, как Макемаке, Хаумея, Квавар и Эрида, не было еще найдено ничего, что приближалось бы по размерам к любой из планет. «Там огромное число небесных тел, — говорит Джуит, — но в общей сложности они составляют лишь одну десятую массы Земли. Фактически это ничтожное количество».

Должно быть, в ранней истории Солнечной системы произошло нечто, разрушившее самые большие небесные тела пояса Койпера. В течение многих лет планетологи спорили о том, чем бы это могло быть. С помощью зондов «Розетта» и «Новые горизонты» они должны, наконец, начать получать ответы.

Модель пращи

К тому времени, когда был открыт пояс Койпера, физики уже выяснили, как сформировалась Солнечная система. Она родилась из гигантского межзвездного газово-пылевого облака, которое сжалось, образовав вращающийся диск. В его ядре гравитация стянула диск в плотный узел материи, настолько плотный и горячий, что он вспыхнул термоядерным пламенем, и так возникло Солнце.

Солнечное тепло и излучение отодвинули большую часть газов и какую-то долю пыли на периферию; чуть ближе пыль сгустилась в булыжники, затем в валуны, затем в тела размером с астероид, называемые планетезималями. Наконец, на последней стадии формирования планет сотни объектов, вероятно, размером с Марс летали, сталкиваясь и круша друг друга, и в конце концов образовали восемь планет, которые мы и наблюдаем сегодня: не только планеты с каменистой поверхностью внутренней части Солнечной системы, но также Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, в основании которых каменные глыбы, обладающие достаточным притяжением, чтобы удержать при себе огромные массы окружающего их газа.

За орбитой Нептуна «пыль», по всей видимости, большей частью состояла из частиц льда, которые, должно быть в результате такого же процесса, сформировали объекты размерами с планету. Но с этим сценарием связаны две проблемы. Первая заключается в том, что астрономы просто не находят объекты размером с планету (хотя Браун утверждает, что в далеком облаке Оорта могли бы находиться несколько объектов величиной с Марс, которые невозможно обнаружить с помощью существующей техники). Другая проблема в том, что в поясе Койпера недостаточно вещества, чтобы объяснить существование любых объектов любого размера. Если бы вещество всех существующих ОПК изначально пребывало в виде первичного облака ледяной пыли, это облако имело бы слишком малую плотность, чтобы в нем могло что-либо сформироваться.

Поэтому само существование пояса Койпера, очевидно, противоречит картине, описывающей то, каким образом, по мнению теоретиков, он должен был сформироваться. «Выработанное общими усилиями решение этой проблемы, — говорит Джуит, — состоит в том, что первоначально вещества [в поясе Койпера] было гораздо больше — 30, 40 или даже 50 масс Земли». Именно из этого строительного материала сформировался гигантский рой объектов, но это скопище небесных тел каким-то образом сошло на нет.

Наиболее вероятный механизм этого «каким-то образом», впервые предложенный Рену Мальхотрой (Renu Malhotra), физиком из Аризонского университета, заключается в том, что четыре гигантские планеты Солнечной системы — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — когда-то располагались гораздо ближе друг к другу, чем теперь.

Мальхотра и несколько его коллег утверждают, что гравитационное взаимодействие между этими плотно сбитыми планетами и первородной стаей объектов пояса Койпера вытолкнуло Сатурн, Уран и Нептун наружу. В то же время Юпитер, взаимодействуя с объектами пояса Койпера и с астероидами, переместился внутрь, ближе к Солнцу.

Посадочный модуль. «Филы» *высадится на поверхность кометы 67P и прикрепится к ней с помощью гарпуна и шурупов; там он пробурит шурф внутрь тела кометы и извлечет керн, а затем проанализирует его состав в своей бортовой лаборатории*

Эти гравитационные стычки, вероятно, не только сместили планеты, но и разбросали множество объектов пояса Койпера в далекие области, где гравитационное воздействие Солнца почти не ощущается, образовав далекое облако Оорта и швырнув множество астероидов во внутреннюю область Солнечной системы. Более того, во время этой миграции Юпитер и Сатурн должны были в течение какого-то времени находиться в резонансе друг с другом, когда Сатурн совершал ровно один оборот за каждые два оборота Юпитера.

Получив дополнительный гравитационный толчок за счет того, что две планеты и Солнце выстроились строго по прямой, ОПК рассеялись с такой силой, что 99% их были сметены напрочь. Часть из них оказались в облаке Оорта. Другие столкнулись с планетами внутренней Солнечной системы, вызвав катаклизм, известный как «последняя метеоритная бомбардировка». «Солнечная система получила жестокую трепку», — замечает Джуит.

По крайней мере один физик, Дэвид Несворны (David Nesvorný) из Юго-Западного научно-исследовательского института, продвинул эту идею на шаг вперед. В Солнечной системе, утверждает он, по всей видимости, была когда-то пятая планета — газовый гигант, которая оказалась выброшенной в межзвездное пространство во время этой яростной перетасовки.

Если такая перетасовка планет-гигантов действительно имела место, это может объяснить, почему в поясе Койпера нет по-настоящему больших небесных тел: материал, из которого они должны формироваться, был преждевременно выметен прочь. Небесные тела, которые все же сформировались, выглядели как планетезимали — небольшие протопланеты, впоследствии объединившиеся в более крупные планеты. При таком взгляде пояс Койпера — это что-то вроде фотографии, застывшего во времени отпечатка того, как каменистая внутренняя часть Солнечной системы выглядела спустя всего несколько миллионов лет после того, как начался процесс формирования планет.

«Самая большая неопределенность в процессе формирования существующих планет, — говорит планетолог из Массачусетского технологического института Хилькe Шлихтинг (Hilke Schlichting), — это формирование планетезималей: как они появились и насколько большими они были». Информация об этом из внутренней части Солнечной системы давно исчезла, но, используя комбинацию наблюдений и моделей, она и ее коллеги показали, что распределение по размерам небесных тел пояса Койпера можно объяснить, если типичный размер ледяных планетезималей, из которых они сложились, был около километра в поперечнике, — догадка, которая, возможно, применима также и к планетам внутренней Солнечной системы. «После десятилетий умозрительных построений, — говорит Шлихтинг, — мы наконец начинаем понимать начальные условия формирования планет».

Плутон крупным планом

Компьютерные модели и наблюдения с большого расстояния рассказали планетологам очень много о структуре и вероятной истории пояса Койпера. Однако наблюдений с близкого расстояния ничем не заменить, как это показали множество зондов, отправленных ко всем планетам и десяткам их спутников и астероидов. «Фотография Плутона, сделанная "Хаббл", — это классно, — говорит Стерн, — но он на ней размером всего в несколько пикселей. К следующему июню, — добавляет он, — Плутон должен открыться нам как настоящая планета».

Когда в январе 2006 г. зонд «Новые горизонты» был запущен, Плутон считался планетой: его перевод в категорию карликовых планет произошел лишь летом того же года. Но как бы Плутон ни называли, Стерн и его коллеги попытаются получить максимум сведений, когда аппарат устремится к нему и пролетит возле него и его спутника Харона со скоростью почти 40 тыс. км/ч, пройдя на расстоянии всего лишь 10 тыс. км от его замерзшей поверхности.

Одна из целей экспедиции — сосчитать кратеры, которыми почти наверняка, как оспинами, отмечена ледяная поверхность Плутона, фиксируя не просто их суммарное количество, но и то, сколько их того или иного размера. Это даст астрономам независимый параметр, позволяющий измерить размеры самих объектов пояса Койпера, которые падали на Плутон, пропорционально их количеству в поясе.

«Но и это еще не все», — продолжает Стерн. С течением времени кратеры Плутона размываются в результате

COURTESY OF ESA AND ATG MEDIALAB

того же процесса, который создает его тонкую атмосферу: постоянно повторяющихся нагревов и охлаждений поверхности карликовой планеты по мере того, как она движется вдоль своей вытянутой орбиты. Однако у Харона нет атмосферы, а это означает, что все следы столкновений сохранились в неизменном виде. «Вы можете сравнить эти два небесных тела, — говорит Стерн, — и выяснить, как изменилась история столкновений, каков диапазон размеров бомбардирующих их снарядов сегодня и как он отличается от того, какой был в поясе Койпера в древности».

Зонд «Новые горизонты» займется также поиском признаков лежащих под поверхностью планет океанов. Планетологи уже обнаружили океаны под толстыми ледяными панцирями спутников Юпитера и Сатурна: на Европе, Ганимеде, Энцеладе и Титане. Если на Плутоне есть ледяные гейзеры или вулканы, это будет свидетельством того, что внутри него тепло и влажно, — возможно, в результате радиоактивного распада, идущего в его каменистом ядре. Но даже если наружных признаков тепла нет, инфракрасные камеры зонда смогут выявить теплые пятна на его поверхности. Идея, что жизнь может существовать внутри Плутона, крайне спекулятивна — но поскольку вода в жидком состоянии считается необходимой составляющей всего живого, каким мы его знаем, ее открытие по крайней мере сделает такое предположение разумным.

Космический аппарат проделает все это и кое-что еще всего за пять месяцев, причем самая напряженная работа придется на день или что-то около того времени, в течение которого он промчится мимо карликовой планеты. Но потребуется около 16 месяцев, чтобы передать бит за битом данные на Землю, на расстояние почти 5 млрд км.

Танец с кометой

«Розетта» проведет почти столько же времени, летая по орбите практически над самой поверхностью *67P*. В отличие от зонда «Новые горизонты», который пронесется мимо Плутона с большой скоростью, «Розетта» будет летать в тесном строю со своей целью в течение 15 месяцев, позволив ответить на все возможные вопросы о точном химическом составе *67P* и его внутренней структуре — ценные ключи к пониманию природы газа и пыли, из которых первоначально состоял пояс Койпера, и того, каким образом в нем сформировались объекты. Нынешние представления ученых на этот счет настолько рудиментарны, что не существует «неопровержимых улик», которые правдоподобно подтвердили бы одну из теорий и развенчали бы ее соперниц. Однако то, что разведает «Розетта», вероятно, поможет ученым впервые сформулировать убедительную теорию.

Это путешествие также позволит «Розетте» и ее спускаемому модулю «Филы» занять место в первом ряду зрителей, когда комета проснется, подойдя ближе к Солнцу. «Мы окажемся поблизости от кометы в течение всего лета 2015 г., когда ее активность будет на самом пике и ядро будет извергать 1 тыс. кг вещества в минуту», — объясняет Мэтт Тейлор (Matt Taylor) из Европейского космического агентства, научный руководитель программы в целом. Ученые все еще не знают, будет ли испускать это вещество вся поверхность кометы или же оно будет распыляться из небольших горячих зон. Уже через год ответ на этот вопрос будет получен, что поможет ученым понять, как и почему кометы в конечном итоге теряют свои льды и бесследно сгорают.

«Розетта», по всей видимости, сможет также ответить на вопросы о нас самих. В частности, откуда взялась вода на Земле? Многие планетологи полагают, что на раннем этапе истории Солнечной системы поток комет первым доставил воду на Землю. «Розетта» проверит эту гипотезу, измерив, насколько состав H_2O, скованной во льдах *67P*, химически идентичен H_2O Земли. Уже существуют свидетельства, полученные космической обсерваторией «Гершель», что по крайней мере некоторые кометы несут в себе воду, в которой отношение содержания водорода к его более тяжелому изотопу, дейтерию, такое же, как и в воде океанов Земли. Но приборы «Розетты» позволят гораздо тщательнее и более неспешно изучить воду кометы и другие ее ингредиенты, включая богатые углеродом органические соединения, которые, не исключено, сыграли важную роль в возникновении жизни.

«Филы» и «Розетта» также будут работать совместно, чтобы решить вопрос, действительно ли кометы — просто большие глыбы грязного льда, или же это группы более мелких обломков, которые относительно неплотно держатся вместе благодаря собственной гравитации. Когда орбитальный модуль «Розетта» будет располагаться над стороной кометы, противоположной той, на которую прикрепится посадочный модуль «Филы», он направит радиосигнал прямо сквозь тело кометы на «Филы», от корпуса которого сигнал отразится назад. Это аналогично сканированию при компьютерной томографии и впервые покажет ученым внутреннюю структуру кометы.

К сожалению, никому из нас никогда не удастся увидеть *67P* невооруженным глазом. Как и в случае с Плутоном и другими ОПК, требуются громадные телескопы, чтобы узреть эти маленькие и далекие тела. Не удивительно поэтому, что астрономы лишь недавно поняли, что пояс Койпера вообще существует, и осознали его, вероятно, решающую роль в истории и нынешней архитектуре Солнечной системы.

К концу следующего года благодаря двум зондам, посланным в космическое путешествие почти десятилетие назад, мы будем знать несравнимо больше. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Discovery of a Planetary-Sized Object in the Scattered Kuiper Belt. M.E. Brown et al. in Astrophysical Journal Letters, Vol. 635, No. 1, pages L97–L100; December 10, 2005.
- The Pluto Files: The Rise and Fall of America's Favorite Planet. Neil de Grasse Tyson. W.W. Norton, 2009.

ЯНВАРЬ 1965

Передача через синапсы. «Поскольку мы не знаем, какое вещество отвечает за передачу сигналов в огромном большинстве синапсов, мы не знаем и того, много ли таких веществ или всего несколько. Единственное такое вещество, надежно идентифицированное в центральной нервной системе млекопитающих, — это ацетилхолин. Мы фактически ничего не знаем о механизме, посредством которого пресинаптический нервный импульс вызывает выделения передающего вещества в синаптическую щель. Неведомо нам и то, как синаптические пузырьки, не примыкающие непосредственно к синаптической щели, выходят на "огневой рубеж" для замены опорожнившихся. Предполагается, что эти пузырьки содержат систему энзимов, необходимую для восполнения их "зарядов". Весь этот процесс должен быть быстрым и эффективным: общего количества передающего вещества в синаптических окончаниях хватает при нормальной скорости работы всего на несколько минут синаптической активности». — Сэр Джон Экклз (John Eccles).

Примечание: *Экклз был одним из лауреатов Нобелевской премии 1963 г. по физиологии.*

ЯНВАРЬ 1915

Слабоумные? Преступными наклонностями нередко отличаются и блестящие умы, а мало-мальски надежно выявить эти наклонности невозможно: поддающиеся оценке показатели характеризуют только умственные способности, т.е. способность мыслить, рассуждать, делать выводы, приспосабливаться к требованиям жизни в обществе, чтобы жить в согласии с ним, подчиняясь его законам и обычаям, но не порочные наклонности. Умственные способности не характеризуют эти наклонности. Цель наших тестов здесь, на острове Эллис *(с 1892 по 1954 г. остров Эллис был крупнейшим пунктом приема иммигрантов в США. — Примеч. пер.)*, состоит в отсеве тех иммигрантов, которые вследствие своего склада ума могут стать бременем для страны или породить потомство, которое придется содержать в тюрьмах, психиатрических больницах или иных учреждениях.

Примечание: *узнать больше о тестах на острове Эллис и увидеть их примеры можно по адресу: www.ScientificAmerican.com/jan2015/ellis-island*

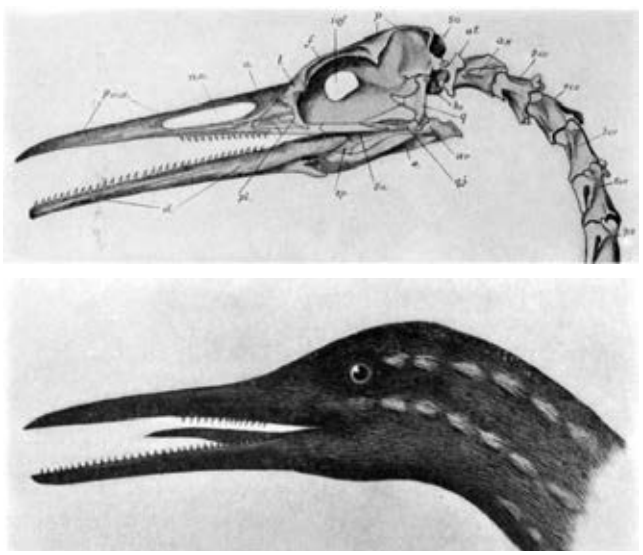
Зубастая птица. Несомненно показано, что *Hesperornis* была огромной гагарой мелового периода. В Национальном музее США представлен ее собранный скелет, который очень точно показывает позу этой птицы при плавании. Ее останки были найдены в 1870 г. вблизи реки Смоки-Хилл на западе штата Канзас.

Пилтдаунский череп. «Самые заметные особенности этого черепа при взгляде сбоку — малая высота свода и слаборазвитые надбровные дуги. Благодаря огромным челюстям лицо должно было выглядеть крайне обезьяноподобным. Однако носовые кости негроидны и на обезьяньи не похожи. Обезьяньи черты свойственны фактически только нижней челюсти. И это побудило некоторых пуститься в нелепые рассуждения о том, что нижняя челюсть принадлежит обезьяне и не имеет ничего общего с черепом. Нет нужды говорить, что подобные мнения высказывали только люди, мало знакомые с проблемами сравнительной анатомии и палеонтологии». — Профессор У.П. Пайкрафт (W.P. Pycraft), Британский музей, Лондон.

Примечание: *в 1953 г. было доказано, что пилтдаунская находка — мистификация.*

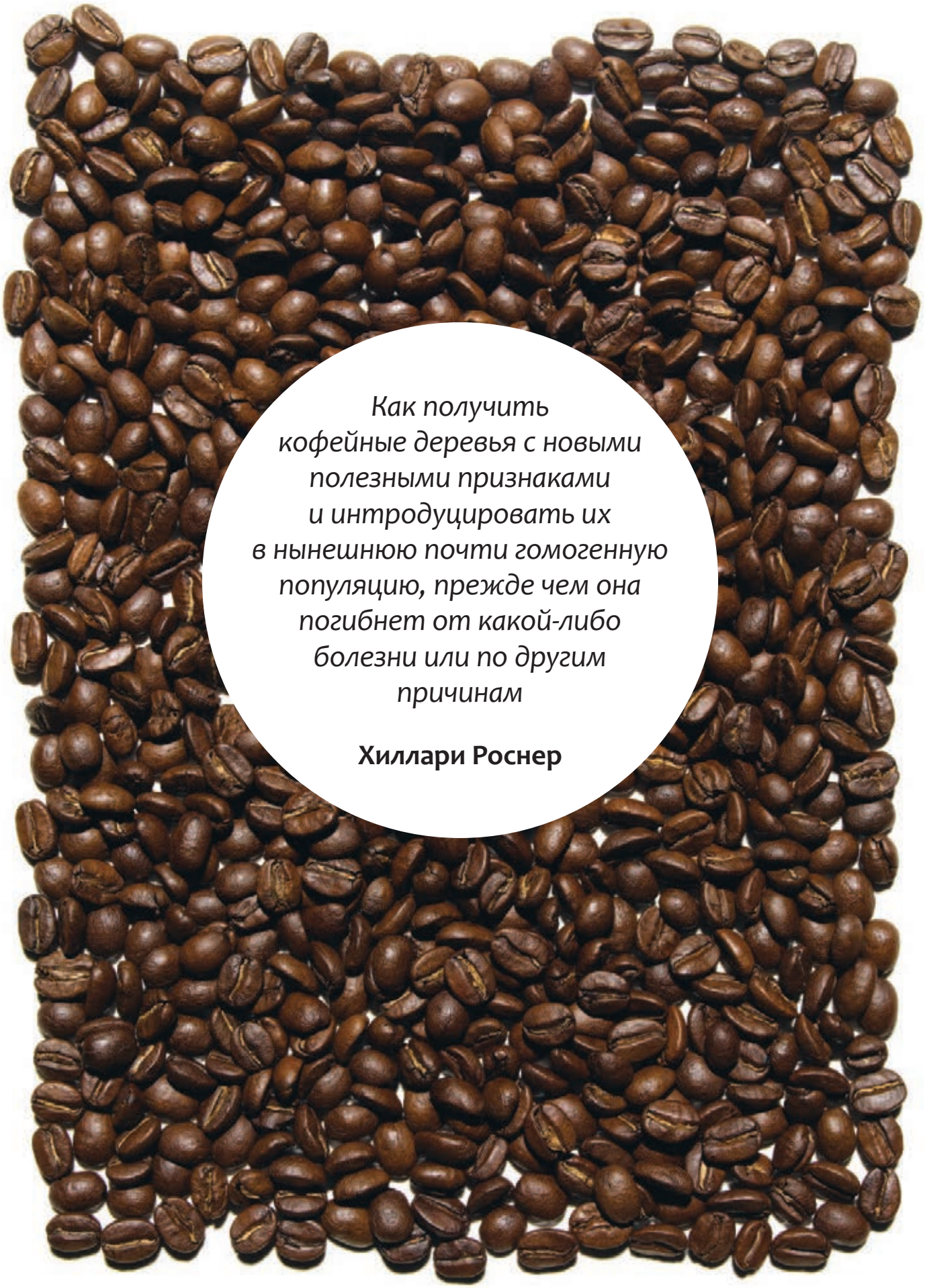
ЯНВАРЬ 1865

Безопасные спички. На рынок поступили шведские спички, отличные от всех существовавших до сих пор. На боковой стороне каждого коробка таких спичек химическим способом нанесен слой смеси различных веществ. Если чиркнуть головкой спички по этому слою, она сразу же загорается, а сколько ни чиркай ею по другим поверхностям, она упрямо не желает гореть. Если положить такую спичку на раскаленную докрасна плиту, ее палочка обуглится раньше, чем воспламенится головка. Трение такой спички обо что-либо кроме материала, нанесенного на стенку коробка, не вызывает воспламенения. Использование всех других видов спичек в общественных зданиях теперь запрещено специальным указом парламента. Белого фосфора в составе этих спичек нет. ■



Hesperornis regalis: *рисунок черепа и реконструкция внешнего вида крупной вымершей птицы с зубами на клюве, 1915 г.*

Спасите кофе!



Как получить кофейные деревья с новыми полезными признаками и интродуцировать их в нынешнюю почти гомогенную популяцию, прежде чем она погибнет от какой-либо болезни или по другим причинам

Хиллари Роснер

ОБ АВТОРЕ

Хиллари Роснер (Hillary Rosner) — журналистка-фрилансер, живущая в Колорадо. Пишет статьи для *New York Times, Wired, Popular Science, Mother Jones* и других изданий.

Кофе, к которому прилагались пирожные с начинкой из гуавы, был едва теплым и горьким, с явным зеленоватым оттенком. Гости даже не притронулись к нему, как бы ни хотелось им выпить чашечку любимого напитка. Столпившись на узком балконе, они любовались лесистыми склонами вулкана Турриальба в Коста-Рике и пили воду или ананасовый сок. Эти 20 человек были, можно сказать, «снобами от кофе». В марте этого года они собрались в Научно-образовательном центре тропического сельского хозяйства *(CATIE)* с тем, чтобы обсудить туманное будущее кофе в Центральной Америке.

Их тревожила серьезная угроза, нависшая над кофейными плантациями, — кофейная ржавчина. Это грибковое заболевание поражает листья: они теряют способность поглощать солнечный свет, и деревья погибают. За последние несколько лет гриб опустошил плантации целых регионов Центральной Америки общей площадью около полумиллиона акров (более 200 тыс. га). Урожай 2012 г. сократился по сравнению с 2011 г. примерно на 20%.

Вспышка заболевания, которое распространяется до сих пор, — лишь одна из принимающих угрожающие размеры опасностей, нависших над кофе в условиях глобального потепления. «По-видимому, сегодня большинство разновидностей кофейных деревьев не в состоянии противостоять болезням и насекомым-вредителям, а также повышению температуры и другим угрозам со стороны окружающей среды, связанным с изменением климата на планете», — сказал Бенуа Бертран (Benoit Bertrand), генетик и селекционер кофе из французского Научно-исследовательского центра по развитию сельского хозяйства *(CIRAD)*, собравшимся в Коста-Рике ученым после короткого перерыва в работе. Если плантации кофе погибнут, фермеры лишатся средств к существованию. Им останется только вырубить деревья и засадить освободившиеся земли другими культурами или продать свои угодья, уволив массу наемных рабочих.

У Бертрана, похожего в своем накинутом на плечи свитере на экстравагантного французского кинорежиссера, а не на ученого, дни и ночи просиживающего над чашками Петри, были основания для беспокойства. Как обнаружилось, неспособность кофе адаптироваться к более высоким температурам или противостоять болезням связана с его крайне низким генетическим разнообразием. Хотя ассортимент кофе в любом местном кафе

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Культурные кофейные деревья находятся под угрозой исчезновения. Виной тому — изменение климата, болезни и насекомые-вредители.
- Генетическая гомогенность этой сельскохозяйственной культуры делает ее чрезвычайно уязвимой: ведь практически все культивируемые сегодня сорта кофе произошли от нескольких растений из Эфиопии.
- В научном плане селекцией кофе мало кто занимается, но сегодня ситуация начала меняться: культурные растения скрещивают с дикими видами, несущими гены устойчивости ко всем упомянутым воздействиям.
- «Живые» банки генов и генный пул дикорастущих кофейных деревьев обеспечивают генетическое разнообразие, благодаря которому удастся получить новые разновидности кофе, способные противостоять всем нынешним угрозам.

PAGE 68: LEVI BROWN Trunk Archive; PRECEDING PAGE: TOM SCHIERLITZ Trunk Archive

Факты

КОФЕЙНЫЙ КРИЗИС

Популяции культурных кофейных деревьев, произрастающих в разных частях света, генетически очень близки. Это единообразие приводит к их чрезвычайно высокой чувствительности к болезням, паразитам, изменениям температуры на планете и количеству выпадающих осадков. И поскольку все это происходит на фоне глобальных изменений климата, упомянутые факторы становятся еще более угрожающими: погодные аномалии случаются все чаще, грибы и насекомые распространяются в регионы, где их никогда прежде не было, и т.д. Популяции дикорастущего кофе, обладающие большим генным разнообразием, лучше справляются с такими напастями. Но и у них есть враг: вырубка лесов. Ниже указаны некоторые из недавно пострадавших регионов.

Опасности

Болезни. Грибы *Hemileia vastatrix* (кофейная ржавчина) и *Colletotrichum kahawae* опустошили кофейные плантации в Центральной Америке и Эфиопии.

Насекомые. Крошечный жучок, известный под названием «кофейный жук — бурильный молоток», нанес ущерб урожаю в Колумбии и других регионах. С изменением климата ареал его обитания расширяется.

Вырубка лесов. Уменьшение площадей, где предпочитают расти дикие кофейные деревья, в Эфиопии, Мадагаскаре и других регионах грозит утратой генетического разнообразия вида.

Изменение климата. В результате выпадения чрезмерного количества осадков существенно снизились урожаи в Индии и Индонезии. Засуха и жара привели к тем же последствиям в Бразилии.

Производство кофе
(тыс. мешков по 60 кг, 2013–2014 гг.)

SOURCE: FOREIGN AGRICULTURE SERVICE, U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE; Maps by George Retseck

напоминает путеводитель по экзотическим уголкам — кисловатый из провинции Ачех в Индонезии, бархатистый из Вьетнама, мягкий из Мадагаскара, — за всем этим разнообразием скрывается удивительный факт: популяция культивируемого сегодня кофе на удивление гомогенна. Примерно 70% его сортов происходят от одного вида — *Coffea arabica*. Множество разновидностей кофе, мест сбора и способов обжарки позволяют получать широчайший спектр вкусов напитка, но за ними стоит и генетическая история растения. Почти весь кофе, выращиваемый в течение последнего столетия, берет начало от нескольких диких растений из Эфиопии, и сегодня разнообразие его популяции составляет менее 1% от разнообразия, характерного для диких популяций в одной только Эфиопии.

Несмотря на популярность, которой пользуется кофе, и его значение для экономики, политики и экологического равновесия, не говоря уж о его роли как неотъемлемого атрибута светских раутов и источнике кофеина, это «растение-сирота», оставшееся в стороне от современных исследований. Ни транснациональная компания *Monsanto*, ни какой-либо другой гигант сельскохозяйственного бизнеса, занимающийся созданием и патентованием генетически модифицированных растений, не интересовался кофе. Такое положение вещей позволяет мелким фермерам в бедных странах получать неплохой доход от выращивания кофе на экспорт, но это также означает скудность финансирования научных исследований в данной области и уязвимость культуры для любых климатических изменений.

Цель — повышение генетического разнообразия

Тим Шиллинг (Tim Schilling), генетик, живущий во Французских Альпах и хорошо известный своей помощью в модернизации кофейной индустрии Руанды в начале 2000-х гг., посвятил себя внедрению научного подхода в производство кофе. Сейчас он работает наблюдателем в новой некоммерческой отраслевой ассоциации

World Coffee Research, включающей 30 крупных и мелких компаний, в том числе *Peet's Coffee & Tea, Allegro* и *Counter Culture Coffee*. Его прозвали Индианой Джонсом по части кофе, но в кресле председателя на встрече в Турриальба, в своих джинсах и белой рубашке, больших черных «совиных» очках, с густой шевелюрой, Шиллинг скорее смахивал на Энди Уорхола. Он обратился к собравшимся с вопросом, сколько денег выделяется сегодня на научные исследования по влиянию климатических изменений и кофейной ржавчины на кофе. Один из селекционеров поднял вверх большой палец, а указательный направил на сантиметр в сторону — международный знак, означающий «гроши».

Последствия могут быть катастрофическими. Грибы, вызывающие кофейную ржавчину, лучше всего чувствуют себя в теплом климате, и с повышением температуры на планете они будут распространяться в более высокие широты. Изменение количества осадков — станет их слишком много или, напротив, недостаточно — тоже может способствовать процветанию грибов. С ржавчиной можно бороться, распыляя фунгициды, но химикаты дороги и не обязательно помогут с появлением новых разновидностей паразита.

На всем земном шаре насчитывается примерно 125 известных нам видов кофе, но наверняка есть виды, о которых нам еще предстоит узнать, — при условии, что мы успеем обнаружить их до того, как они исчезнут

По мнению Шиллинга, здесь можно надеяться только на генетику. На первом этапе он намеревается использовать адаптации, которые уже существуют в генном пуле *Coffea arabica* и другого культурного сорта кофе, *Coffea canephora*. Последний, известный в кофейной индустрии под названием робуста, неприхотлив и отличается высокой урожайностью, но имеет горький вкус, и его используют в основном в качестве наполнителя в низкосортных смесях — подобных тем, которыми пренебрегли участники встречи в *CATIE*. Несмотря на то что культивируемый кофе гомогенен в том смысле, что, по сути, представлен двумя этими видами, многие разновидности каждого из них имеют характерные для разных регионов генетические варианты. Точно так же различаются между собой человеческие популяции, хотя все они относятся к *Homo sapiens*. Грандиозный план Шиллинга основан на относительно простой идее, реализация которой уже началась. Она заключается во взаимном обмене местными разновидностями кофейных деревьев между разными регионами и странами — например, пересылке растений из Конго в Бразилию или из Колумбии в Гондурас с тем, чтобы определить, станут ли они расти там лучше, чем местные разновидности. Через три-четыре года плантаторы уже смогут сказать: «Да, пожалуй, это кофейное дерево из Индии дает больше зерен» и предпочтут выращивать именно его. Ученые идентифицировали 30 самых урожайных разновидностей кофе из десятка стран и собираются заняться их исследованием в ближайшее время.

Если удастся повысить генетическое разнообразие культивируемого кофе, ему можно будет очень быстро помочь. Популяции коммерческих разновидностей *Coffea arabica* и *Coffea canephora* практически гомогенны в отличие от их невероятно разнообразных диких родственников. Секвенирование генома кофе показало, что последние, по словам Бертрана, представляют собой «обширнейший банк генов», многие из которых находятся в подобных банках по всему миру. Он намеревается вырастить на этом богатом «генетическом бульоне» более жизнестойкие и плодовитые кофейные деревья, а получаемый из их зерен напиток сделать еще вкуснее.

Иллюстрации генетического разнообразия данного кофе можно увидеть на территории *CATIE* на каждом шагу. По всему кампусу от места, где шли заседания, вдоль грунтовой дороги установлены деревянные указатели с надписью *Café Coleccion de Etiopia (FAO)*. Здесь растут около 10 тыс. деревьев сорта арабика, занимая площадь примерно 8,5 га. Заложенная в 1940-х гг. плантация включает кофейные деревья, собранные во время нескольких экспедиций в Эфиопию, первые из них — британцами во время Второй мировой войны, а более поздние, в 1960-х гг., — Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) и группой французских исследователей. Есть там и кофейные деревья с Мадагаскара и из других регионов Африки, например из Йемена. В отличие от семян многих других сельскохозяйственных растений, например кукурузы, зерна кофе нельзя просто хранить в мешках при пониженной температуре. Их нужно сразу же высевать или замораживать. Таким образом, в *CATIE* находится один из самых обширных в мире банков кофейных генов, представляющий собой огромную запущенную кофейную плантацию.

Бертран для создания новых разновидностей использует растения, обладающие полезными признаками, из «живых» банков генов — таких, как в *CATIE*. Гибрид, который он получил свыше десяти лет назад, скрещивая *Coffea arabica* с одним из его дикорастущих родственников, был на 40% более урожайным. Теперь он вместе с Шиллингом отобрал 800 растений с плантации в *CATIE*, а также 200 из других «живых» банков кофейных генов со всего мира, и отправил их в лабораторию в Итаку, штат Нью-Йорк, чтобы секвенировать их ДНК. Полученные данные помогут выяснить, какие полезные признаки может передать гибриду каждое растение.

MOISES CASTILLO AP Photo

Кофейная ржавчина: *плоды этого кофейного дерева из Гватемалы поражены грибами*

В поисках генов, благодаря которым гибриды стали бы стойкими во всех отношениях (не боялись кофейной ржавчины, недостатка влаги и жары), Бертран и Шиллинг отбирают популяции с невероятно широким генетическим разнообразием. Их цель — получить максимально широкий спектр свойств при минимальном количестве растений.

В диких условиях

Шиллинг уверен, что их усилия увенчаются успехом: плантаторы получат более разнообразный растительный материал, а почитатели кофе — еще более ароматный напиток с широким спектром вкусовых качеств. Однако у исследователей есть и другая цель: превзойти матушку-природу и вывести новую, синтетическую разновидность *Coffea arabica*. По существу, они хотят создать кофе с ароматом, как у *C. arabica*, а с «характером» и урожайностью — как у *C. canephora*. Идея состоит в том, чтобы воспроизвести произошедшее естественным путем скрещивание, которое когда-то привело к появлению *C. arabica* (а именно, скрещивание *C. canephora* и другого вида, *Coffea eugenoides*), но только на этот раз с участием гораздо более многообразной группы предков. Для реализации грандиозного проекта им нужно выйти за пределы того, что содержится в банках кофейных генов, и отправиться обратно, в дикую природу.

На Земле насчитывается около 125 известных нам видов кофе, каждый из которых содержит намного больше генетических вариантов, чем может быть представлено в небольшой выборке из банка генов. И, конечно, есть виды, о которых нам только предстоит узнать, — при условии, что их успеют обнаружить до того, как те исчезнут.

Когда в 1997 г. Аарон Дэвис (Aaron Davis) начал «охоту» за дикорастущими кофейными деревьями, он не ожидал обнаружить что-то новое. Будучи тогда новоиспеченным доктором наук, он как-то пил чай в Королевском ботаническом саду в Кью (Лондон), и так случилось, что неподалеку сидела знаменитая женщина-таксономист. Дэвис спросил ее, сколько сортов кофе здесь произрастает и откуда они родом. Ответ был короток и ясен: «Никто не знает». Это побудило Дэвиса отправиться на поиски, и следующие 15 лет он провел в долгих путешествиях по Мадагаскару — острову, известному разнообразием произрастающих здесь видов кофе. Часть из них уже входила в каталоги, но гораздо больше было неизвестных никому разновидностей.

На Мадагаскаре он обнаружил деревья с самыми крупными в мире кофейными плодами, примерно в три раза больше обычных, а также с самыми мелкими, почти вдвое меньше канцелярской кнопки. Он нашел также два вида, чьи семена распространялись с помощью воды, а не животных, а их «крылатые» плоды походили на гофрированную ленту. Еще одна интересная находка — *Coffee ambongensis*, у которого бобы напоминали по виду поверхность мозга. Экспедиция Дэвиса показала, что дикий кофе произрастает широкой полосой в тропиках от Африки до Азии и есть даже в Австралии. В Эфиопии, основном регионе произрастания *C. arabica* на сегодня, леса кое-где потеснены плантациями арабики, где количество кофейных деревьев доходит до 8 тыс. на акр (0,4 га). По мнению Дэвиса, у этих деревьев огромный селекционный потенциал.

Но и дикорастущие кофейные деревья, как и их культурные родственники, находятся в опасности. Примерно 70% из них грозит исчезновение, при этом 10% — уже в ближайшие десять лет. Основную угрозу для них представляет освоение земель. К концу 1990-х гг. в Эфиопии было вырублено более 80% лесов. В 2007 г. на Мадагаскаре, где вырубка продолжается в угрожающих масштабах, Дэвис с коллегами обнаружили новые виды, которые росли на сохранившемся клочке леса размером не больше бейсбольного поля. По его словам, там, где заботятся о дикорастущих кофейных деревьях, «климатические изменения обычно не влияют на них столь катастрофическим образом». Надо понимать, что если исчезнут деревья, то погибнет и естественная среда обитания для других растений и многих животных.

Дэвиса удручает, что исследователи уделяют слишком много внимания тому материалу, который уже находится в банках генов, тогда как носители ценного генетического материала чахнут или идут под нож бульдозера. «Возникает ощущение, что все уже в наших руках, — говорит он. — Но одно дело — искусственно созданное хранилище генетических ресурсов, а совсем другое — дикая популяция».

Эфиопия и сама по себе представляет серьезную проблему. Родина всего культивируемого ныне кофе обладает обширнейшей коллекцией кофейных деревьев, которых больше нет нигде в мире. Но правительство держит их под замком и не допускает к ним исследователей из других стран. «Между властями Эфиопии и кофейной индустрией существует давняя вражда, — поясняет Дэвис. — И нет ничего удивительного в том, что они охраняют свои генетические ресурсы». Так, несколько лет назад между Эфиопией и американской компанией по продаже кофе *Starbucks* разгорелся спор по поводу того, имеет ли страна право патентовать названия культурных эфиопских сортов кофе как торговую марку.

Доступ к банкам генов Эфиопии мог бы существенно продвинуть проект Шиллинга. Возможно, в них содержатся те самые гены, которые отвечают за адаптацию к высоким температурам или увеличение урожайности. Шиллинг надеется, что правительство Эфиопии в конце концов пойдет на уступки, а пока он вынужден довольствоваться тем, что имеет.

Копаясь в архивах в Кью, Дэвис обнаружил интересные документы, свидетельствующие о том, что в Уганде и кое-где еще издавна варят кофе из зерен растущих в тех краях диких видов. У них может быть ужасный вкус, но все они после обжарки обладают характерным кофейным ароматом. По словам Дэвиса, «некоторые сорта, бывшие в ходу 100 лет назад, считались превосходными. Сегодня мы возвращаемся к ним и вновь исследуем некоторые из тех ранее выведенных сортов, которые можно будет использовать сами по себе или в качестве материала для скрещивания и селекции».

Успеть вовремя!

Вскоре после того как Шиллинг основал организацию *World Coffee Research* — при помощи промышленной группы, в которую входят компании–поставщики высококачественного и эксклюзивного кофе *(Specialty Coffee Association of America, SCAA)*, и при участии *Green Mountain Coffee* и *Coffee Bean International*, — вспышка кофейной ржавчины внезапно охватила Центральную Америку. Шиллинг срочно организовал встречу в Гватемале, чтобы обсудить план дальнейших действий в связи со сложившейся обстановкой. Почти сразу к нему стали поступать заявки от лиц, слышавших о предстоящей встрече и хотевших принять в ней участие. «Таких оказалось порядка 200 человек, — поясняет Рик Райнхарт (Ric Rhinehart), генеральный директор *SCAA* и один из ближайших соратников Шиллинга. — Мы просто не смогли всех их принять».

Среди заинтересованных сторон было Агентство США по международному развитию (АМР США), которое предложило Шиллингу подать заявку на выделение гранта на исследования, связанные с кофейной ржавчиной. Если кофейная промышленность Центральной Америки придет в упадок, это может вызвать волну миграции в США, и правительство страны кровно заинтересовано в решении данной проблемы. По оценкам *World Coffee Research*, убытки производителей кофе от вспышки кофейной ржавчины в 2012 г. составили $548 млн, заработная плата рабочих сократилась на 15–20%, а рынок труда — примерно на 441 тыс. рабочих мест. Если ничего не предпринимать, то к 2050 г. кофейная промышленность Центральной Америки может просто исчезнуть.

И хотя в 2012 г. в связи с кризисом по причине кофейной ржавчины были приняты экстренные меры в полном объеме (фермеров обеспечили фунгицидами и предоставили кредиты), Шиллинг полагает, что здесь необходим системный подход. АМР США в конце концов профинансировало план Шиллинга, который поможет создать высокотехнологичную программу селекции этой культуры, чтобы обеспечивать плантаторов новыми разновидностями кофе, стойкими к переменам климата и паразитам.

Во многих отношениях вспышка кофейной ржавчины — это предостережение всем, кто имеет отношение к кофейному бизнесу: вот что может произойти с кофе по всему миру, если новые болезни атакуют беззащитные растения, которые к тому же страдают от перемен климата. На встрече в *CATIE* Карлос Марио Родригес (Carlos Mario Rodriguez), занимающийся глобальными проблемами сельского хозяйства в компании *Starbucks*, заметил, что китайские фермеры сообщают об обнаружении не менее пяти новых разновидностей кофейной ржавчины на своих плантациях. «Те, чьи угодья находятся на больших высотах, раньше даже не слышали о кофейной ржавчине — а теперь они знают, что это такое», — сказал Родригес.

Бретт Смит (Brett Smith), президент *Counter Culture Coffee*, компании по обжарке кофе, расположенной в Северной Каролине, уподобил проблему генетической гомогенности популяций культивируемого сегодня кофе «полупустому портфелю ценных бумаг». Тем не менее он уверен, что Шиллинг с коллегами справятся с задачей спасения кофе.

Остается единственный вопрос: успеют ли они сделать это вовремя. «Займись мы данной проблемой десять лет назад — и сегодня она перед нами не стояла бы, — говорит Райнхарт. — Если мы не начнем прямо сегодня, каждый потерянный день окажется золотым. И тогда ситуация может стать необратимой». ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

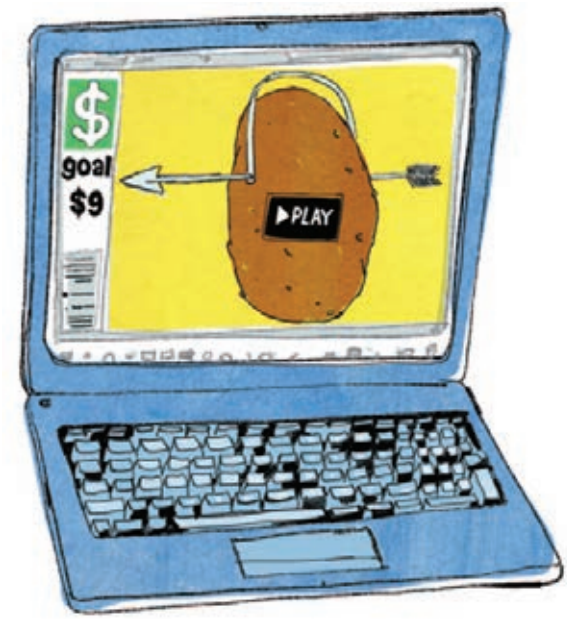
- Качмент А. Конец апельсинового сока // ВМН, №7–8, 2013.
- Uncommon Grounds: The History of Coffee and How It Transformed Our World. Revised edition. Mark Pendergrast. Basic Books, 2010.
- The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (Coffea arabica): Predicting Future Trends and Identifying Priorities. Aaron P. Davis et al. In PLOS ONE, Vol. 7, No. 11; November 7, 2012.
- Слайд-шоу о видах кофе см. по адресу: ScientificAmerican.com/oct2014/coffee

Шутка на миллион

Как разбогатеть с помощью интернет-приколов

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Поуг (David Pogue) — обозреватель *Yahoo Tech*, ведущий научно-популярного телесериала *NOVA* на телеканале *PBS*.



Никто и не думал превращать сервис *Kickstarter* в платформу для изощренных шуток, разносимых по Интернету. Он был задуман как обычный веб-сайт, позволяющий предпринимателям обращаться к широким массам в надежде получить деньги под свои проекты: человек заходит сюда, просматривает видеоролик и прочее о проекте и после этого, если ему понравилась задумка автора, жертвует несколько долларов — не инвестирует, а всего лишь демонстрирует свою поддержку приглянувшемуся проекту, выступая в качестве благотворителя.

И вот в июле некий Зак Браун (Zack Brown) из штата Огайо забросил на *Kickstarter* самый, пожалуй, нелепый проект: ему нужно было сделать картофельный салат, для чего он и попросил всего каких-то $10. Он даже не потрудился разместить видеопросьбу, а всего лишь написал: «Я собираюсь приготовить картофельный салат, правда, еще не решил, какой именно».

В Интернете ценят хороший юмор. И вот всего через несколько дней шутка Брауна разлетелась по Всемирной паутине со скоростью света. Тысячи юзеров подхватили дело Брауна и тоже стали создавать нелепые проекты. Вдобавок к делу подключились СМИ, раструбив о салате Брауна во всю мощь, и всем стало известно, что его кулинарная задумка собрала в общей сложности более $70 тыс!

Нет, Браун не продавал никаких волшебных снадобий, он вообще ничего не продавал, а абсолютно честно заявил, на что именно хотел потратить вырученные деньги — так, на ерунду. Другими словами, Интернет позволяет быстро разбогатеть с помощью остроумия: мы, простые пользователи, веселимся, а за это шутники получают барыш.

Но вся эта история началась намного раньше. Так, в 2005 г. один британский студент затеял проект под названием «Страница на миллион долларов» *(Million Dollar Homepage)*, где каждый пиксель экрана (общим размером 1000 x 1000 пикселей) продавался рекламодателям за $1, — и парень продал их все до единого.

Следом появился проект под названием «Одна красная скрепка» *(One Red Paperclip)*, зачинатель которого, канадец Кайл Макдоналд (Kyle MacDonald), решил узнать: а что он может получить в обмен на канцелярскую скрепку, лежащую у него на письменном столе? Кто-то предложил ему авторучку в виде рыбки, которую Макдональд обменял на дверную ручку, а ту, в свою очередь, выменял на походную печку — и так далее, до тех пор, пока через 14 актов обмена не приобрел самый настоящий дом.

Сообразили, в чем дело? Искренняя игра на забаву публике. В каждом из этих случаев, судя по всему, существуют некие правила, обеспечивающие этим несерьезным проектам коммерческий успех. Перечислю их.

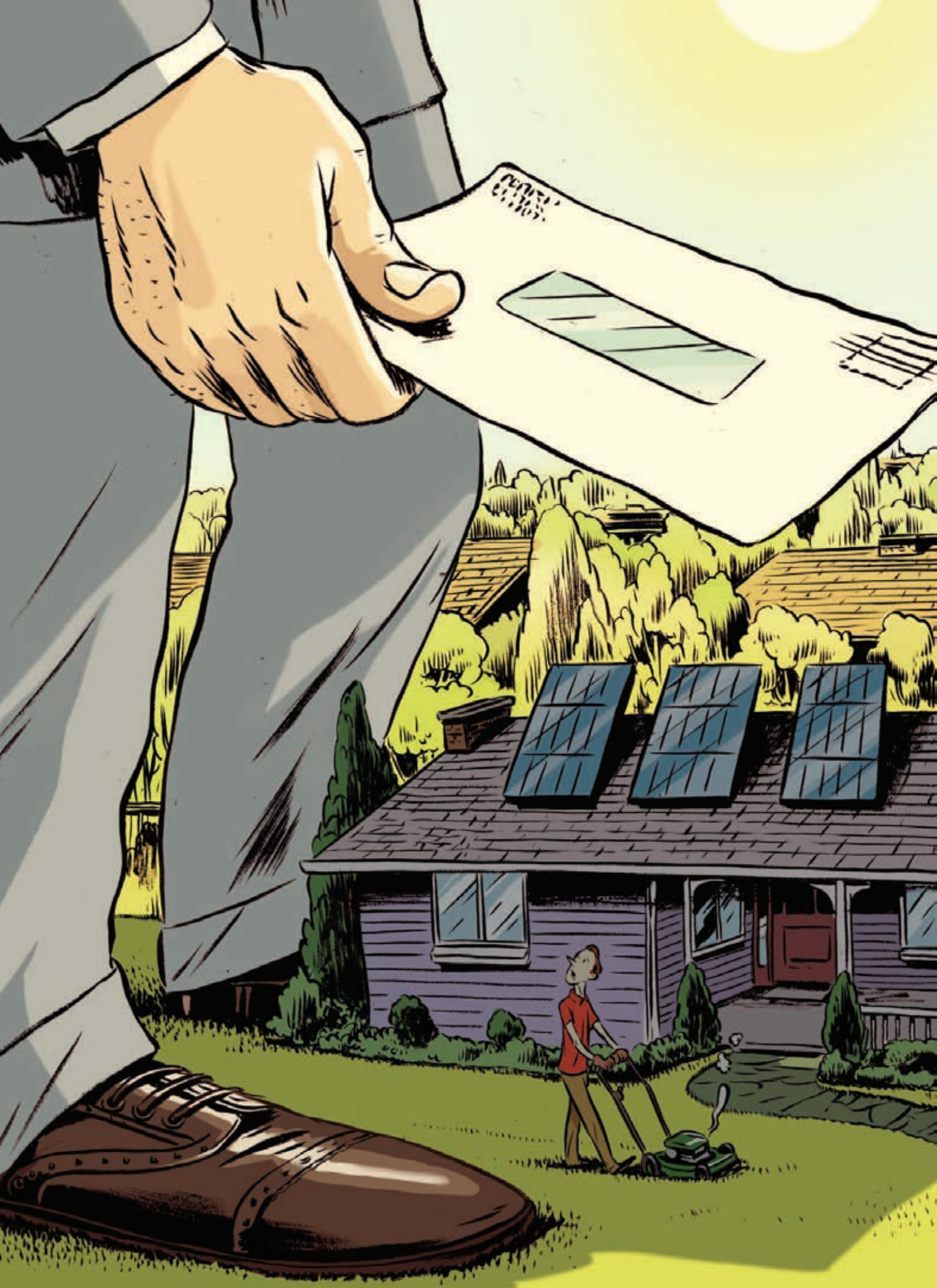
Во-первых, не следует копировать те нашумевшие интернет-приколы, которые кто-то до вас уже с успехом использовал. Хотя конечно же на сайте *Kickstarter* появились подражатели проекта *Million Dollar Homepage*, и по крайней мере человек десять решили в очередной раз вслед за Брауном нарезать картофельный салат. Но ничего у них не вышло. Итак, главный куш получит лишь автор оригинальной идеи.

Второе правило: если остришь, то остри до конца, иначе все испортишь. И вот вам доказательство: наш кулинар Браун появился как-то в передаче *Good Morning America* и стал с серьезным видом рассуждать о том, как «лучше всего делать добрые дела» с помощью денег, — и тут легкость и остроумие тотчас же исчезли.

Третье и последнее правило: избегай натяжек, неестественности. Скажем, тот же Браун впоследствии стал продвигать на сайте *Kickstarter* и всякие другие проекты — ресторан, фотостудию, радиостанцию; но, увы, теперь уже от первоначальной непосредственности не осталось и следа. И сумма взносов вскоре упала на $30 тыс. В итоге Браун собрал всего чуть больше $55 тыс.

Конечно, у тех, кто быстро обогатился, особенно с помощью интернет-приколов, всегда будут завистники. Но если ваш юмор свеж и оригинален, то множество людей (отнюдь не бедных) с радостью оценят ваше остроумие. ■

Перевод: И.В. Ногаев



Дэвид Биелло

СОЛНЕЧНЫЕ ВОЙНЫ

Растущая популярность солнечных батарей, установленных на крышах зданий, вызывает ответный удар обслуживающих энергокомпаний

Дуг Кокс (Doug Cox) каждые шесть месяцев моет крышу своего дома, чтобы дополучить электроэнергию. 16 панелей солнечных батарей, установленные на южной стороне его крыши, под лучами палящего солнца Финикса вырабатывают почти 4 кВт электроэнергии, чего достаточно на все нужды, включая охлаждение дома в жарком климате. Однако система, которая служит уже два года, так забивается пылью, что электрический ток ослабевает. Кокс, 37-летний учитель математики из средней школы, говорит: «Пока я скребу крышу, моя жена находится рядом наготове со шлангом, чтобы смыть мыло. Мы даже привлекаем нашу пятилетнюю дочь: она стоит внизу, а мы говорим ей, когда надо включать или выключать воду».

Illustration by Zohar Lazar

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Биелло (David Biello) — помощник редактора *Scientific American*, часто освещает проблемы энергетики и окружающей среды.

Семья Кокса — типичная для Финикса и других солнечных районов, где домовладельцы устанавливают солнечные батареи на крышах, чтобы иметь свою собственную электроэнергию, а излишки отсылать в местную энергосистему. На крышах более 127 тыс. домов в Аризоне работают сейчас солнечные станции. Члены семьи Кокса, сделав математические расчеты, сразу купили себе панели: они исходили из того, что батареи будут им служить 20 лет или более, а их стоимость в $12 тыс. окупится примерно через шесть лет за счет снижения как платы за электричество, так и налоговой ставки. Кокс вспоминает: «В прошлом году в мае, июне и июле мы получили нулевой счет за электричество, в это невозможно было поверить». В следующие месяцы в домашнем хозяйстве Кокса были произведены излишки электроэнергии, которые были отправлены в местную электроэнергетическую систему для погашения будущих счетов. «Наш электросчетчик дал обратный ход», — радуется Кокс.

Тем не менее по отношению к Аризонской коммунальной службе *(APS)*, в чье ведение входит территория Финикса, Кокс считается нахлебником. По мнению ее сотрудников, не доплачивая за электричество, его семья не покрывает долю своего участия в поддержании местной энергосистемы, которой она продолжает пользоваться. *APS* заявляет, что каждый дом с солнечными панелями накладывает экономическое бремя в размере $1 тыс. в год на другие дома, не имеющие солнечных батарей. Чтобы компенсировать недоплату, *APS* намеревается взимать дополнительно по $100 в месяц с каждого дома, оснащенного солнечными батареями. И чтобы убедить граждан в необходимости дополнительной платы, *APS* при поддержке заинтересованных групп коммунальщиков устроила рекламную шумиху. В 2013 г. почти $4 млн было спущено на телевизионные, печатные и электронные объявления. Солнечные электростанции, кажется, столь успешны в Аризоне, что коммунальные службы увидели в них реальную угрозу.

Потребители солнечной энергии выразили несогласие, назвав предлагаемую дополнительную плату «налогом на солнце». Они заявили, что в электроэнергетической промышленности нужна конкуренция, и они сделают все, чтобы публично перейти в контрнаступление, заручившись поддержкой в том числе и неожиданных союзников. «Почему вдруг коммунальным службам разрешено держать монополию на этот источник электроэнергии? — спрашивает Том Морриси (Tom Morrissey), бывший председатель республиканской партии в Аризоне. — Почему мы сами не можем обеспечить себя, ослабив нагрузку на энергетическую систему?»

Разгоревшаяся война коммунальщиков и потребителей солнечной энергии вскрыла значимый перекос в экономике энергетических сетей. Дешевые солнечные панели из Китая при благоприятной обстановке на федеральном и штатском уровнях вышли из узкого сегмента рынка и стали существенным рычагом изменения энергетической промышленности, да таким, что составили угрозу коммунальному хозяйству в том виде, в каком оно существовало последние 100 лет. Эта борьба частников и промышленной отрасли может привести к перестройке всего политического ландшафта, объединив сторонников защиты окружающей среды с участниками «Движения чаепития» и, возможно, расколов республиканскую партию. Вполне вероятно, что все это может положить начало новой модели хозяйствования в энергетике и новой форме политической власти в пригородах.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Растет популярность установки солнечных батарей на крышах домов, при этом множатся опасения о потере доходов среди обслуживающих электроэнергетических компаний. Некоторые из них разворачивают кампании против дальнейшего роста потребления солнечной энергии.
- В результате этой борьбы возникают политические союзы. Необходимо введение новых мер, чтобы быть уверенным, что существует достаточно средств для содержания надежной электросети.
- Энергосберегающие дома, оснащенные своими солнечными коллекторами, топливными элементами и аккумуляторами, позволят осуществить американскую мечту о независимости.

Дешево купить, но дешевле арендовать

Солнечная война в США может быть выиграна или проиграна в отношении цены; в настоящее время солнечная энергия дешева и становится еще дешевле. Монтажные компании могут оптом покупать солнечные модули по цене 60 центов за ватт, что вдвое дешевле, чем пять лет назад. Солнечная энергия, если учесть все финансовые показатели, сегодня по стоимости равна общесетевой, за которую жители платят 15 центов за киловатт-час и более, и составляет 16% американского розничного рынка электроэнергии. Ассоциация отраслей солнечной энергии отметила, что в 2013 г. более 100 тыс. американских домов перешли на источники солнечной энергии. Дэвид Крейн (David Crane), президент энергетической компании *NRG Energy*, владеющей крупными станциями, обеспечивающими всю страну электричеством и работающими на ископаемых видах топлива, а также атомной и солнечной энергии, говорит, что проблемы с затратами на солнечные технологии уже преодолены.

Все, что осталось сделать, — это склонить чашу весов в пользу установок на крышах домов, т.е. понести расходы на преодоление факторов, мешающих сделке.

Под факторами Крейн имеет в виду поиск производителя и установщика солнечных панелей, оформление документов с органами управления штатами, местного самоуправления, а также местными энергосетями, и обеспечение безопасной установки солнечных комплектов надлежащим образом. Все эти мероприятия удорожают систему общего пользования, увеличивая цену по крайней мере вдвое, до $ 5 тыс. за кВт. В обычном доме в США устанавливают солнечные батареи на 4–6 кВт, обеспечивающие половину потребностей дома в электроэнергии.

Однако расходы на преодоление препятствующих факторов также снижаются, иногда до нуля, в зависимости от заинтересованности клиентов и благодаря компаниям, фактически предоставляющим энергию и устанавливающим оборудование, таким как, например, *SolarCity, Sungevity, Sunrun* и *Vivint*. Иногда сами обслуживающие предприятия предлагают что-то похожее на так называемое «коммунальное солнце». Соглашения бывают разные, но в основном компании оплачивают установку солнечных панелей на крышах и пользуются всеми налоговыми скидками и другими акциями. У домовладельцев остаются арендная плата и установленные тарифы на электроэнергию, из чего и состоит общий счет, который значительно меньше, чем их обычный за текущее пользование электричеством. Большинство арендных договоров рассчитаны на 20 лет и включают обслуживание.

По словам Линдона Райва (Lyndon Rive), главного исполнительного директора компании *SolarCity*, сложившийся стереотип дороговизны солнечной энергии должен быть развенчан. Его компания намеревается в 2014 г. установить на крышах солнечных батарей по крайней мере на 500 МВт, что почти вдвое больше, чем в 2013 г. Федеральный налоговый кредит для установки солнечных панелей позволяет домовладельцам или их доверенным лицам на треть снизить цену при их покупке и установке. Различные льготы, устанавливаемые администрацией штата, района и коммунальными службами, могут сделать предложение еще привлекательнее.

Такого рода приманки весьма способствовали популярности солнечных панелей в Аризоне. По данным *APS*, каждый день более 15 солнечных коллекторов получают прописку на крышах домов штата. Кокс сообщает: «Когда идешь по улице, то видишь солнечные панели на каждом втором доме». Число таких независимых солнечных станций выросло с 4,77 тыс. в 2010 г. до более 30 тыс. сегодня, как отмечает Марк Ромито (Marc Romito), управляющий отделом возобновляемой энергии *APS*, куда входят крупные солнечные электростанциии и где в будущем проектируется «коммунальное солнце». Однако из-за домов, владеющих собственными электростанциями, коммунальные службы теряют выгодных клиентов и оказываются перед проблемой сокращения базы больших инфраструктурных расходов, идущих, например, на строительство электростанций или обслуживание электросетей. Согласно расчетам *APS*, стоимость содержания местной энергосистемы без учета солнечных генераторов равняется как минимум $60 в месяц с каждого хозяйства. Эти суммы владельцы солнечных станций избегают платить. В итоге коммунальщики переносят дополнительные расходы на плечи своих обычных клиентов из расчета $60 за каждого имеющего солнечные панели. Ромито отмечает, что такой поворот в счетах может выйти из-под контроля, вынуждая его компанию выступить против обеспечения солнечных установок в домах.

Эта проблема не ограничивается рамками штата Аризона: более 40 штатов разрешают собственникам продавать излишки энергии, вырабатываемые их солнечными генераторами, а большинство заставляют свои коммунальные службы покупать эти излишки. Хотя солнечные станции в США дают менее 0,25% всей электроэнергии страны, если они станут так же широко представлены на крышах, как дымовые трубы, то коммунальщики опасаются, что они могут выйти из дела или просто будут поддерживать электросети. Электрокомпании пока не достигли крупного снижения своих доходов, но они его предвидят. В результате коммунальные службы в Оклахоме и Висконсине уже развернули пропаганду против владельцев солнечных батарей, а в штате Гавайи они преуспели в торможении дальнейшего подключения солнечных систем.

SOURCE: SOLAR ENERGY INDUSTRY ASSOCIATION

Потребители дают отпор

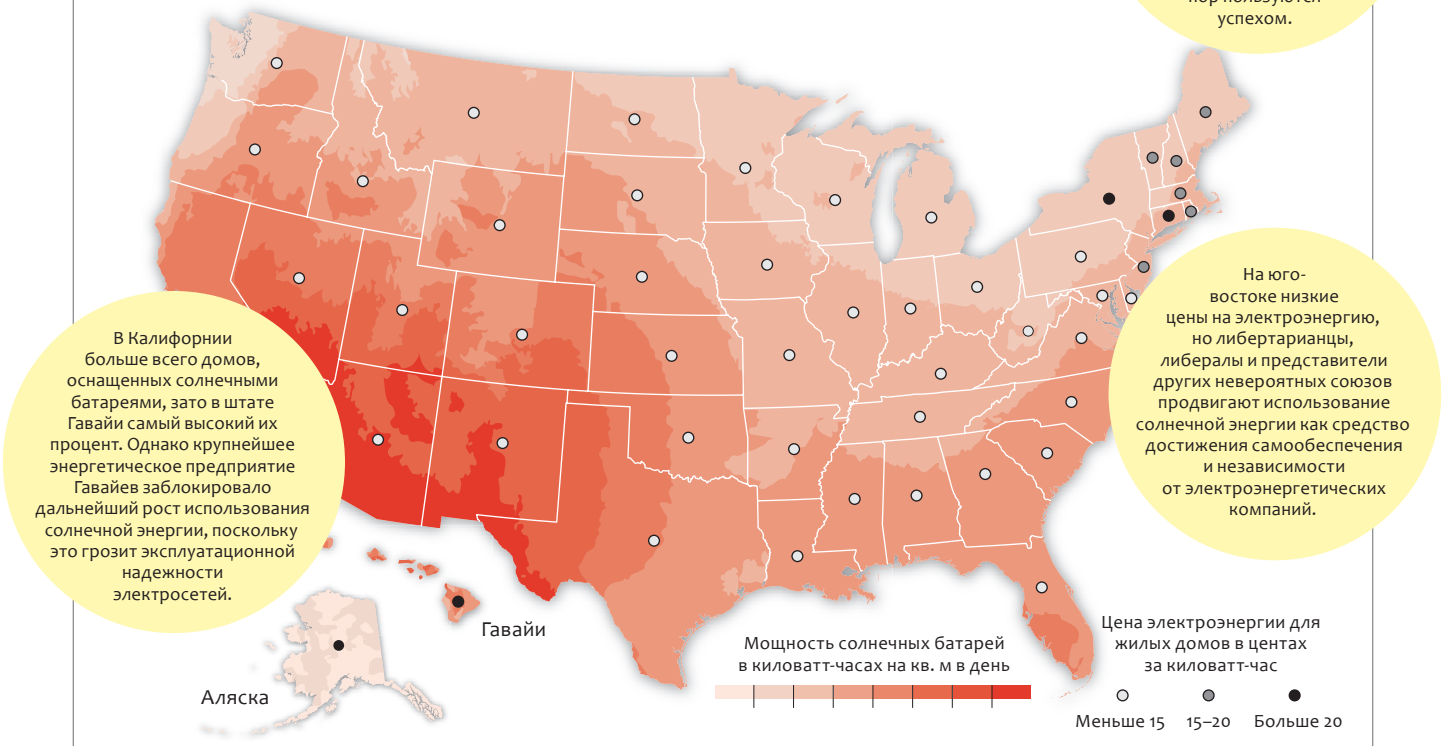
Собственники солнечных панелей держат удар, отстаивая свои сбережения и энергетическую независимость. В 2013 г. частные лица и представители промышленной солнечной энергетики провели свою рекламную

Солнечная погода

САМЫЕ ВЫГОДНЫЕ МЕСТА ДЛЯ УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА КРЫШАХ ДОМОВ

Наиболее ощутимый финансовый результат получается при установке солнечных батарей на крышах, где много солнечного света *(темно-красный)* и высокие тарифы на электричество, как в Калифорнии и в штате Гавайи. Но даже в местах, где меньше солнечных дней в году, солнечные элементы могут окупиться, если стоимость электроэнергии от сетей общего пользования составляет больше 15 центов за киловатт-час *(темно-серые и черные точки)*, — обычная цена на северо-востоке страны. Выбор жизненного уклада также помог распространению солнечных батарей, особенно на юго-востоке, где они возникли как альтернатива региональным электроэнергетическим монополиям, столь излюбленным коммунальными службами в прошлом столетии.

На северо-востоке тарифы на электроэнергию высоки, но компактная застройка городов, устаревшее законодательство, затенение от деревьев и строений замедляют продвижение солнечных панелей. Однако в Нью-Джерси и Массачусетсе солнечные станции до сих пор пользуются успехом.



кампанию, агитируя за выгоды использования солнечных источников энергии, к которым относятся самообеспечение, уменьшение загрязнения, а также повышение конкуренции среди таких мини-монополий, как *APS*. Они отвергли страхи коммунальщиков, связанные с предполагаемым нахлебничеством солнечных станций. «Мы оплачиваем такие же счета, как все», — говорит Сью Митчелл (Sue Mitchell), жительница Финикса, держательница солнечных панелей на своей крыше. Она в течение 26 лет обучала девочек-скаутов помимо всего прочего уверенности в своих силах. Ее домашняя система обеспечивает половину потребностей семьи. Домовладелец из Финикса Скотт Маккей (Scott McCay), у которого нет солнечного коллектора, отмечает, что после десяти лет усовершенствований в своем доме, таких как улучшение изоляции и освещения более эффективными лампами, потребление электроэнергии у него снизилось приблизительно на 18%, в то время как ежемесячные счета от *APS* выросли на 33% ввиду резкого повышения тарифов.

В отличие от коммунальщиков многие домовладельцы лелеют надежду на децентрализацию энергосистемы, чтобы меньше зависеть от сети и больше полагаться на свои источники энергии. Разрешение этих стычек покажет, как может видоизмениться система электроснабжения, как впишется она в климатические условия сначала в Аризоне и Калифорнии, затем в других частях США и всего мира. Рост популярности использования солнечной энергии в Австралии, Испании и Германии вызывает аналогичную головную боль, учитывая, что некоторые крупные немецкие энергокомпании находятся на стадии закрытия. В мировых масштабах солнечные станции дают более 100 ГВт, чего хватило бы для обеспечения 17 млн американских домов.

Чтобы повлиять на результат споров, финансируемая коммунальными службами группа ученых из Эдисоновского электротехнического института в январе 2013 г. выпустила отчет под названием «Разрушительные проблемы» *(Disruptive Challenges)*. В докладе отмечается, что домовые солнечные станции, называемые в докладе

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY www.nrel.gov/gis/solar.html (solar data); ELECTRIC POWER MONTHLY. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, MAY 2014 (electricity costs); Map by XNR Productions

рассредоточенными энергоресурсами, могут в итоге позволить слишком многим американцам покинуть энергосистемы, затягивая тем самым коммунальные службы в смертельную петлю, предполагающую снижение объема продаж, которое не смогут покрыть растущие эксплуатационные расходы. Это может подтолкнуть рост цен на электроэнергию и в конечном счете подвигнуть еще больше людей на приобретение солнечных коллекторов. Как говорилось в отчете, 3 тыс. коммунальных служб, обеспечивающих сегодня США электричеством, через десять или 20 лет могут стать лишь смутным воспоминанием.

Эта точка зрения — возможно, преувеличение. Держателям солнечных батарей на крышах, скорее всего, придется бороться с трудностями, чтобы удовлетворить запросы энергетики США, особенно в районах, где мало солнца или где электроэнергия дешева. Но даже в самых солнечных местах, таких как Калифорния и Аризона, влияние на коммунальные службы все еще незначительно. Так, например, *APS* просто возмещает свои затраты за счет остальных потребителей электроэнергии, не имеющих солнечных генераторов. А в штате Гавайи *Hawaiian Electric* ограничила подключение новых частных солнечных станций, пока ведется изучение того, как влияет рост использования солнечной энергии на местную энергосистему. Правда, коммунальные службы получили выговор от государственных управляющих органов за проволочку в тактических действиях и провал предупредительных мер в отношении выработки электроэнергии в жилых домах.

Усиливает удар по коммунальным службам (учитывая, что выработка энергии солнечными батареями в домах и эффективность энергосбережения могут ухудшиться) снижение темпов роста энергопользования в масштабах всей страны начиная с 2000 г. Многие, хотя и не все, службы делают большую часть своей прибыли на строительстве новых электростанций, линий электропередач и других элементах инфраструктуры, таких как, например, умные счетчики. Но в ближайшее десятилетие структура их бизнеса, возможно, подвергнется изменениям, а домовые солнечные станции либо помогут, либо воспрепятствуют их введению. Новые методы стимулирования и новые модели бизнеса, такие как «коммунальное солнце», должны быть продуманы и внедрены для обеспечения надежного электроснабжения всей страны.

Обещанная независимость, которую хотели бы иметь самостоятельные электростанции, неожиданно привлекла новых союзников. Когда *Georgia Power*, дочерняя компания *Southern Company*, попыталась заблокировать развитие использования солнечной энергии, это вызвало создание так называемой «Коалиции зеленого чая». В нее вошли члены местной организации «Движения чаепития» под предводительством активного борца Дебби Дули (Debbie Dooley) и местных поборников защиты окружающей среды из Совета по охране природных ресурсов, *Sierra Club* и других подобных организаций. Они поставили цель: поддержать в штате установку солнечных панелей на крышах домов. «Солнечная энергия — это естественная постановка вопроса для защитников окружающей среды», — говорит Дули, открыто выражающая недоумение по поводу консерваторов, которые ратуют за свободный рынок, а сами поддерживают санкционированную государством монополию в лице местных коммунальных служб. Она добавляет: «В итоге энергетике остается вступить в конкуренцию на поле боя. Позвольте потребителю решать самому».

В результате образования этого неожиданного союза Комиссия по услугам населению Джорджии, общереспубликанский орган управления коммунальным хозяйством в штате, вынесла постановление о том, чтобы потребовать от *Georgia Power* включать больше позиций по солнечной энергии в свои будущие планы.

Своего рода раскол зарождается и внутри республиканской партии. Члены либертарианской партии и «Движения чаепития», вроде Дули, поддерживающие права собственности домовладельцев, объединились против различных консервативных группировок, таких как «Американцы за процветание», и научно-исследовательских центров, таких как Центральный институт в Чикаго, — и те и другие поддерживаются нефтяными магнатами Чарлзом и Дэвидом Кохами (Charles Koch & David Koch). Гровер Норквист (Grover Norquist) из республиканской организации «Американцы за налоговую реформу» открыто осудил коалицию, образовавшуюся в Джорджии, а также другие группировки, поддерживающие установку солнечных электрогенераторов в домах, утверждая, что их сплотила промышленная солнечная энергетика, и назвал это формой «кумовского капитализма».

Все еще представляется, что права собственности и понятие самодостаточности могут быть поддержаны большинством американцев. «Потребители в Аризоне переходят на солнечную энергию, потому что они сейчас контролируют свое электрообеспечение», — отмечает Райв. Подобное мировоззрение привело к законным «правам на солнечную энергию» в таких «фиолетовых» штатах Среднего Запада, как Висконсин и Айова *(«фиолетовыми» называют те штаты, где демократы и республиканцы набирают примерно одинаковое число голосов; на картах избирательных кампаний они обозначаются смешением синего и красного цветов. — Примеч. ред.)*. Принятые там законы запрещают местным органам управления, товариществам домовладельцев и другим организациям препятствовать в установке солнечных коллекторов в домах, как это случилось в Аризоне.

Важную часть этой головоломки представляет собой как раз то, что не ясно, как много теряет коммунальная служба, когда отдельный дом частично выходит из электросети, в плане того, сколько она должна платить за энергию, отсылаемую этим домом, когда тариф определяется органом регулирования штата. Когда *APS* выступила с антисолнечными заявлениями, она утверждала, что платит слишком высокую цену за генерируемую в домах энергию: те же 11 центов за киловатт-час, которые начисляет своим обычным клиентам. Эта акционерная компания открытого типа также заявляет,

что владельцы солнечных станций должны облагаться дополнительными платежами за содержание линий электропередач и других элементов инфраструктуры, которыми они до сих пор пользуются. *APS* настоятельно призывала комиссию штата, осуществляющую электроэнергетический контроль, разрешить делать эти взыскания. Как и в большинстве случаев, относящихся к электроснабжению, регулирующие госорганы сдерживали устремления обеих сторон — и коммунальщиков, и домохозяев.

Не все защитники солнечной энергетики заняли сторону домовладельцев. Джеймс Хьюз (James Hughes), генеральный директор *First Solar*, крупнейшего производителя солнечных панелей в мире, расположенного в Аризоне, поддержал *APS* в его борьбе за ценовые сдвиги. Однако Барри Голдуотер — младший (Barry Goldwater, Jr.), в прошлом конгрессмен, который возглавляет группу «Скажи коммунальщикам, что солнечную энергию не убить», утверждал, что *APS* препятствовала продвижению солнечных батарей, чтобы сохранить свои доходы, но не пыталась найти пути получения выгоды в условиях новой реальности.

Удельная цена установки солнечных систем в жилом секторе США ($/ватт):

5,09 в 2012 г.

4,59 в2013 г.

В 43 штатах некоторым или всем жителям разрешено продавать электроэнергию своим обслуживающим компаниям

На самом деле коммунальные службы, скорее всего, платят владельцам солнечных панелей по заниженным ставкам. Это показывает анализ, проведенный одной из них — *Austin Energy* в Техасе. Муниципальные энергопредприятия пришли к выводу, что им следует платить домовладельцам на три цента больше, чем по тарифам розничной торговли, ввиду экономии за счет избегнутых потерь при электропередачах и возможности отложить строительство крупных электростанций, которые в противном случае должны были бы удовлетворять растущий спрос и требовали бы многомиллионных вложений. Эти факторы привносят экономию в счета за электричество даже тех граждан, у которых нет солнечных батарей. Аналогичный анализ, проведенный для Комиссии по вопросам деятельности коммунальных служб в Неваде, выявил, что владельцы солнечных панелей в этом штате не поднимают плату за электричество своих соседей.

Однако *APS* настаивает, что домовые солнечные генераторы дают только экономию топлива, не снижая расходов на содержание энергосетей. Ромито говорит, что ввиду прерывистого характера солнечная энергия совсем не сокращает расходы на передачу и распределение электричества, и это заключение основано на реальном опыте во Флагстаффе и Финиксе.

До сих пор орган, контролирующий энергоснабжение в Аризоне, Аризонская акционерная комиссия, до некоторой степени имел такое же мнение. В ноябре 2013 г. комиссия решила взыскивать с держателей солнечных батарей по 70 центов за киловатт, производимый солнечными элементами, или в среднем $5 в месяц. Такой размер дебета практически уничтожает выгоды аренды солнечных панелей. Райв отмечает, что сейчас в Аризоне дела идут с трудом, хотя *APS* не видит спада в стремлении подключать новые солнечные системы.

Защитники солнечных панелей торжественно обещают продолжить борьбу. «Мы еще недостаточно сделали, чтобы вскрыть подлинные результаты распространения солнечных панелей на крышах, как положительные, так и отрицательные», — утверждает Диллон Холмс (Dillon Holmes) из *Clean Power Arizona*, организации, созданной в защиту возобновляемых источников энергии в штате.

APS также собирается продолжить борьбу в комиссии в 2015 г., когда она будет принимать решение по новым тарифам на электроэнергию. «Мы благодарим Аризонскую акционерную комиссию за прорыв сквозь риторику и сосредоточение на вопросе о том, как ценовой сдвиг влияет на клиентов, не пользующихся солнечными панелями», — сообщил исполнительный директор Дон Брандт (Don Brandt) в заявлении по изданию норм. По его словам, текущая политика далека от защиты интересов миллиона жителей, не имеющих солнечных батарей.

Аналогичные настроения прослеживаются по всей территории США и за ее пределами, даже в тех странах, где солнечная энергия используется больше всего. В Германии и Испании рассматриваются начисления за доступ солнечной энергии к сетям, дабы обеспечить содержание инфраструктуры, находящейся в критическом состоянии.

Запасной план

Такие поборы могут замедлить рост использования солнечной энергии, а развитие событий в Аризоне может иметь последствия не только на национальном, но и на международном уровне — для солнечной энергетики как отрасли и для изменения климата. Использование солнечных батарей, установленных на крышах, вызывает гораздо меньшее тепловое загрязнение в мире, чем производство электричества, основанное на сжигании угля, к тому же при этом потребляется меньше воды в сравнении с потребностями охлаждения на АЭС.

Солнечные электростанции могут оказаться серьезными игроками, даже если государственные налоговые скидки закончатся навсегда в 2016 г., когда, как это планировалось, истечет их срок действия. Если цены на модули опустятся до 50 центов за ватт, тогда солнечная энергия станет такой же дешевой, как другие

SOURCE: SOLAR ENERGY INDUSTRY ASSOCIATION

энергетические ресурсы, во всех 50 штатах. *SolarCity* строит новый завод в Буффало, штат Нью-Йорк, чтобы поставить на поток солнечные панели и достичь объема выпуска в один гигаватт в год, что поможет снизить цену. Министерство энергетики США вложило $87 млн в проекты, которые позволят снизить стоимость солнечных модулей и их установку до 50 центов за ватт. Исследования, проведенные Национальной ассоциацией жилищно-строительных фирм, говорят, что более половины этих фирм планируют к 2016 г. предлагать дома со встроенными солнечными панелями. Согласно данным Эдисоновского электротехнического института, домовая солнечная электроэнергия будет дешевле, чем из сети, на одной трети площади США к 2017 г.

Некоторые хозяева солнечных генераторов хотят еще более дистанцироваться от своих коммунальных служб. «Я рассчитываю получить аккумуляторы и совершенно отделиться от сети», — говорит Джерри Дитерич (Jerry Dieterich), обычный подрядчик из Финикса, который арендует систему мощностью в 6,4 кВт для своей крыши. Производитель солнечных батарей *SunPower* вступил в сотрудничество со строительной фирмой *KB Home*, чтобы предложить установку на крышах панелей и аккумуляторов в 150 населенных пунктах Калифорнии. *SolarCity* обслуживает более 100 различных домостроительных предприятий и стал партнером производителя электромобилей *Tesla*, чтобы поставлять комплекты солнечных элементов и аккумуляторов. Проведенный в Институте Рокки Маунтин анализ дает основания предположить, что солнечные коллекторы вместе с аккумуляторами смогут конкурировать в цене на электричество с традиционными сетями после 2020 г.

В конечном счете распространение солнечных генераторов сможет не только видоизменить американскую электроэнергетику общего пользования, но также преобразовать сельский уклад жизни, выведя его на доселе невиданную стезю устойчивого развития. Солнечная панель в доме, возможно, в сочетании с электромобилем в гараже или аккумуляторным блоком в подвале, чтобы хранить электроэнергию, выработанную из солнечного света, и использовать ее ночью или в пасмурный день, смогут сократить доход компаний, управляющих электросетями, хотя сами сети вряд ли исчезнут. Топливный элемент или маленький генератор, работающий на природном газе, могут также облегчить переход на новый этап развития. «Речь идет не только о солнечной энергии», — отмечает Ромито из *APS*. По его мнению, в будущем управляющим электрокомпаниям нужно будет рассматривать каждое имеющееся техническое устройство, будь то топливный элемент, аккумуляторная батарея или еще какое-то нововведение в изменяющейся системе.

Другими словами, возобновляемые источники энергии в домах подразумевают свободу пользования, вот почему солнечная война перестраивает местную, а также, возможно, государственную политику. Дэвид Крейн из *NRG Energy* задал вопрос на совещании, проходившем в феврале на высшем уровне: «Не глупо ли строить в XXI в. систему электроснабжения на 130 млн деревянных столбов?» Он сказал, что в течение жизни одного поколения вся система может стать отжившей.

Райв говорит, что, учитывая такую перспективу, коммунальные службы делают все от них зависящее, прежде чем рост использования солнечных батарей так ускорится, что его нельзя будет остановить. Райв и другие советуют службам вместо этого научиться использовать солнечные системы и даже попытаться «возглавить бунт», чтобы не превратиться в малодоходную обслуживающую сети организацию.

Преобразование коммунальных служб уже началось. Ромито подтверждает: «Мы признаем, что наши клиенты хотят иметь на крышах солнечные станции». В качестве обеспечения новых возможностей выбора *APS* предложила план установок и содержания солнечных станций на 3 тыс. крышах жилых домов из расчета $30 в месяц с каждого дома на 20 лет.

Аналогичным образом могут быть изменены правила, позволяющие службам зарабатывать на сокращении пользования электричеством. Уже многие жильцы и предприятия внесли улучшения, позволившие снизить потребление электроэнергии, — такие, например, как укрепление вентиляционных труб, замена негерметичных дверей и окон, установка энергосберегающих приборов, добавка изоляционных материалов. Дитерич поясняет: «Я говорю людям, что главное — сделать свой дом крепким, устойчивым, прежде всего энергоэффективным». Для этого он в первую очередь предлагает устанавливать солнечные панели и контролировать производство электроэнергии. О своем солнечном коллекторе на крыше Дитерич говорит так: «Он ничего не делает, только деньги». ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Мейсон Д., Фтенакис В., Цвейбель К. Грандиозные идеи // ВМН, № 4, 2008.
- Disruptive Challenges: Financial Implications and Strategic Responses to a Changing Retail Electric Business. Peter Kind. Edison Electric Institute, January 2013. www.eei.org/ourissues/finance/documents/disruptivechallenges.pdf
- The Economics of Grid Defection. Peter Bronski et al. Rocky Mountain Institute, CohnReznick Think Energy and HOMER Energy, February 2014. www.rmi.org/electricity_grid_defection
- Residential Prosumers — Drivers and Policy Options (Re-Prosumers). Wilson Rickerson et al. International Energy Agency – Renewable Energy Technology Deployment, June 2014. http://iea-retd.org/archives/publications/re-prosum

Это сооружение, похожее на католический собор, выстроили термиты, обитающие в Национальном парке Литчфилд, Австралия. Созданные из почвы, слюны и экскрементов, такие постройки могут достигать более 6 м в высоту.

Роб Данн

Эволюция архитектуры

Жилища, которые строят себе животные, — точно такой же продукт эволюции, как и сами строители

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Птицы, млекопитающие, рыбы, общественные насекомые и множество других животных строят жилища, отличающиеся огромным разнообразием форм и издавна привлекающие внимание ученых. Биологи давно подозревают, что генетические и поведенческие основы созидательной деятельности животных — продукт эволюции.
- Однако лишь в последние десятилетия начались регулярные исследования, выявившие генетический базис гнездостроительства, физические принципы конструкции гнезд и удивительно простые поведенческие правила, позволяющие множеству созданий с крошечным мозгом совместно строить огромные сооружения.
- Вероятно, однажды мы сможем создать компьютерную программу, воспроизводящую те же самые несложные правила, чтобы использовать их в архитектуре городов и при строительстве коммуникаций.

ОБ АВТОРЕ

Роб Данн (Rob Dunn) — биолог, работающий в Университете штата Северная Каролина, а также писатель, публикующий статьи в различных журналах, включая *Natural History, Smithsonian* и *National Geographic*.

Всю жизнь меня восхищало мастерство, с которым животные строят свои природные жилища. Я потратил долгие годы на изучение муравейников, термитников, осиных и птичьих гнезд, мышиных нор и даже подводных конструкций, создаваемых рыбами. Раскапывал гнезда, засовывал в них палки и другие предметы, наблюдал за строительством гнезд в лаборатории и изучал, что пишут о них другие ученые. Мне приходилось рыть ямы в несколько метров глубиной, чтобы докопаться до самых нижних этажей муравейника, случалось нырять под воду, чтобы понаблюдать за работой синежаберных солнечников *(Lepomis macrochirus)* — пресноводных рыб, выкапывающих на дне водоемов свои гнезда, напоминающие плоские блюдца, и выхаживающих там своих мальков. Мальчишкой я даже как-то попытался поднырнуть снизу в бобровую хатку.

Изучая все эти постройки, я столкнулся с совершенно потрясающим разнообразием форм, конструкций и планировки. У одних животных норы выглядят как длинные прямые туннели, у других — как причудливо разветвленные лабиринты. Бывают гнезда спиральные, напоминающие по форме раковину улитки, а бывают и такие, что выглядят подобно кораллам с их фрактальным повторением одних и тех же структур. Но самое важное, что бросилось мне в глаза, — все постройки животных несут отпечаток эволюционной истории. Другими словами, форма и конструкция гнезда представляют собой такой же неотъемлемый признак вида, его построившего, как и форма конечностей, цвет глаз, строение кожных покровов, — и столь же специфичны, как генотип, определяющий вид организма. Действительно, метод постройки гнезда (или набор инструкций по его созданию) должен быть, хотя бы частично, записан в генах.

Биологи только сейчас начинают понимать, как в ходе эволюции развивались «архитектурные способности» животных. Недавно появились целый ряд исследовательских работ, посвященных выявлению генов, ответственных за «строительное» поведение, а также рассмотрению физических основ процесса строительства, определяющих форму гнезда, выбор строительного материала и места для постройки. Наиболее интригующей областью здесь остается то, как взаимодействует между собой множество мелких созданий с крошечным мозгом (таких, как муравьи или термиты) при строительстве своих огромных сооружений, внутри которых скрыты многомиллионные мегаполисы. По иронии судьбы поучительная история о том, как ученые поставили первые эксперименты на эту тему, началась в очень нехитрой постройке — в гараже.

Мышка-норушка

Хопи Хекстра (Hopi E. Hoekstra) была в 2003 г. еще совсем молодой и работала тогда в Калифорнийском университете в Сан-Диего. Темой ее работы была связь между генетикой и поведением у мышей. К тому времени она уже знала, что разные виды мышей строят гнезда-туннели различной формы. Джесси Вебер (Jesse N. Weber), который в то время был студентом, стажирующимся в лаборатории Хекстры, как то раз поинтересовался, не могут ли они с Хопи выявить гены, отвечающие у мышей за строительство туннелей определенного типа.

Первым заданием для Вебера была разработка экспериментальной камеры вроде вольеры или бокса, достаточно крупной и содержащей достаточно много грунта, чтобы «убедить» мышей начать там строительство. Он поэкспериментировал с различными дешевыми и доступными материалами и в итоге сколотил клетки из ДСП, наполнив их песком с детских площадок. Места в лабораторном помещении для этих ящиков не было, поэтому строительство происходило в гараже, пристроенном

INGO ARNDT Nature Picture Library (page 72 and wasp nest); INGO ARNDT Minden Pictures (ants and birds)

к дому Хекстры. «Оборудование» в виде расположенных в ряд деревянных боксов, скрепленных вместе крафт-скотчем, получилось неказистым на вид, но благодаря энтузиазму конструктора вполне работоспособным.

Хекстра на тот момент уже некоторое время занималась грызунами рода *Peromyscus* (принадлежащими к семейству хомяковых, но по-английски называемыми мышами), так что Вебер решил заселить ящики двумя видами грызунов, принадлежащими к этому роду: белоногими хомячками *(P. maniculatus)* и полевыми хомячками *(P. polionotus)*. Белоногие хомячки живут почти по всей Северной Америке за исключением крайнего юго-востока и строят короткие одиночные туннели. Полевые

Каждый дом уникален. *Гнездо обыкновенной осы на ранних стадиях строительства (вверху слева); зеленые древесные муравьи используют шелковую нить, чтобы «сшивать» друг с другом края листьев, превращая лист в муравейник (внизу слева); птицы ткачики строят свои гнезда из волокнистого материала, который они добывают из травы и пальмовых листьев (внизу).*

хомячки, наоборот, живут только на крайнем юго-востоке и роют длинные туннели с дополнительным запасным ходом, слепо заканчивающимся прямо под поверхностью почвы, который грызуны используют при необходимости искать спасения снаружи.

Когда ученым, исследующим мышей, необходимо выявить гены, отвечающие за определенный признак, они часто скрещивают особей, определенно обладающих этим признаком, с теми, которые точно им не обладают. Затем они смотрят, на кого из родителей оказывается похожим первое поколение гибридов. Если все они имеют интересующий ученых признак, то с большой вероятностью этот признак кодируется всего одним геном, причем наличие признака соответствует доминантной аллели этого гена (той, которая проявляется при наличии одновременно двух аллелей). Такой механизм наследования впервые был изучен еще самим основателем генетики Грегором Менделем в его экспериментах с различными признаками у гороха. Доминантно-рецессивное моногенное наследование характерно для самых простых взаимоотношений между признаком и геном. Подобные случаи в природе не столь уж часты, и едва ли можно было ожидать, что способ строительства туннелей будет кодироваться столь нехитрым способом. Но Вебер все равно решил попытать счастья. В природе полевые и белоногие хомячки не спариваются друг с другом, однако гараж, как известно, — очень подходящее место для не совсем законных свиданий. Вебер уговорил-таки грызунов разных видов спариться, а затем предоставил возможность новому поколению рыть в свое удовольствие.

Наиболее вероятным изначально казалось предположение, что гибриды начнут строить туннели всевозможных переходных форм между тем, что известно

Новые открытия

РАСКОПКИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ РЫТЬЯ ГНЕЗД

Белоногие хомячки роют норы с единственным туннелем, служащим и входом, и выходом, а полевые делают длинный входной туннель и в дополнение к нему резервный выход. Когда исследователи скрестили эти два вида, все норы, сооружаемые гибридными мышами первого поколения, выглядели так же, как норы полевых хомячков. Скрестив гибриды первого поколения снова с белоногими хомячками, ученые получили второе поколение с более разнообразными вариантами конструкции нор. Примерно половина этих особей рыла запасной туннель, однако длина входного туннеля очень разнилась в зависимости от конкретной особи. Эти результаты показывают, что длина основного туннеля и наличие запасного представляют собой наследуемые признаки, определяемые теми или иными генами, — точно так же, как, например, наследуется цвет глаз у людей. Однако наследование длины главного входа имеет более сложный характер, чем наследование признака присутствия или отсутствия резервного туннеля.

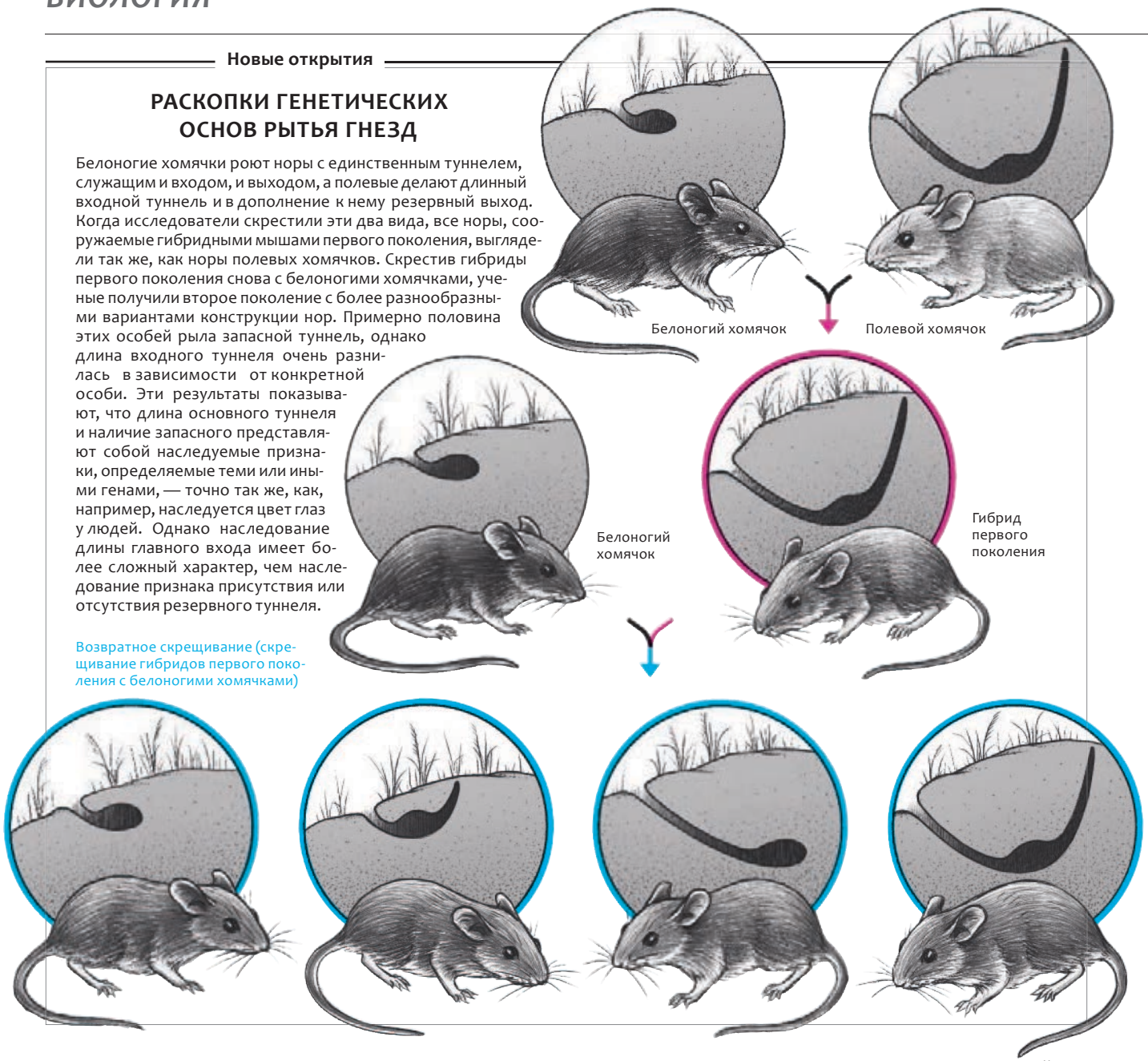


Illustration by Jillian Walters

у *P. polionotus* и *P. maniculatus*, отражая тем самым и сложную смесь участвующих в этом процессе генов. Но, вопреки ожиданиям, все первое поколение гибридов строило длинные норы с запасным туннелем для бегства (т.е. как у полевых хомячков). В теории это должно было означать простейший тип наследования, в котором участвуют всего два гена: один определяет длину норы, другой — наличие туннеля для бегства. Наличие в генотипе потомства одной (гетерозигота) или двух (доминантная гомозигота) аллелей «длинный туннель» (унаследованных хотя бы от одного родителя) выражается в строительстве именно длинного, а не короткого туннеля; аналогичная ситуация будет наблюдаться с доминантной аллелью «запасной выход есть». Рецессивные варианты обеих аллелей («короткий туннель» и «запасного выхода нет») будут проявлять себя только в так называемой рецессивной гомозиготе, когда обе копии гена у потомства представлены рецессивной аллелью. Однако Хекстра и Вебер считали маловероятным столь простой тип наследования сложного поведенческого инстинкта.

Однако когда они скрестили гибрид первого поколения опять с белоногим хомячком (так называемое возвратное скрещивание), к их удивлению, они обнаружили картину, очень напоминающую простое доминирование, по крайней мере в том, что касалось наличия в гнезде запасного выхода. А именно — половина потомства создавала такие ходы, а половина — нет. Длина же основного туннеля у этого второго потомства обнаруживала непрерывный спектр варьирования, что подразумевало более сложную картину наследования. В последующей серии экспериментов Вебер (который сейчас уже имеет ученую степень и работает в Техасском университете в Остине), и Хекстра (ныне профессор Гарвардского университета)

в конце концов смогли идентифицировать области, содержащие гены, которые отвечают за каждый из признаков. Строительство запасного выхода определяется группой генов (а иногда даже единственным геном), находящихся в одной хромосоме. Длина же основного тунеля зависит сразу от нескольких генов, локализованных в трех различных областях генома, т.е. кодируется более сложным образом. Описанная работа демонстрирует, что даже у животных с достаточно развитым интеллектом, таких как хомячки, сложное поведение, задействованное в строительстве гнезда, может кодироваться генетически и быть продуктом биологической эволюции. Открытие Вебера и Хекстры оказалось той ниточкой, потянув за которую, биологи начали распутывать огромный клубок проблем, связанных с генетикой и эволюцией гнездостроительства в животном мире. Теперь, чтобы разобраться в тайнах генетики гнездостроительства, ученым остается «всего лишь» повторить эксперименты, подобные описанному, для нескольких десятков тысяч остальных видов животных, которые строят себе дома. В Стэнфордском университете сотрудники лаборатории Рассела Ферналда (Russell Fernald) уже сейчас занимаются изучением генетических основ строительства различных гнезд у рыб цихлид, одни из которых делают плоские жилища, прикрытые матами из водных растений, а другие сооружают гнезда наподобие небольших холмиков. На очереди стоят многие другие группы животных — как наземных, так и водных.

Наследование и приобретение строительных навыков у целого ряда животных, несомненно, выглядит гораздо сложнее, чем у грызунов. Хороший пример тому — канарейки, которые учатся строить гнезда, подсматривая за тем, как этим занимаются их родители или собратья. Аналогично самцы шалашников — еще одной группы искусных пернатых строителей — учатся друг у друга способам украшения гнезд, необходимого для привлечения самок. Перспективны в изучении многие группы общественных насекомых, однако их трудно разводить (и тем более скрещивать) в лабораторных условиях. Но генетическая подоплека — далеко не единственная и даже не самая глубокая из тайн, окружающих проблему строительства у животных. Куда более сложным выглядит вопрос о том, почему гнезда у разных видов так непохожи друг на друга и в чем причина специфической и зачастую весьма необычной конструкции, которую имеют в природе различные постройки.

Терема термитов

Гнезда большинства млекопитающих устроены довольно просто — на том же уровне сложности, как и у белоногих хомячков *Peromyscus*. Они, в сущности, очень похожи и у разных видов в разных географических регионах, отличаясь, как правило, лишь количеством и длиной тунелей, а также числом и размером камер. Даже у птиц конструктивное сходство гнезд — скорее правило, и необычные постройки встречаются у них, в общем-то, лишь изредка. Действительно, большинство птичьих гнезд — это сравнительно простые чашевидные или плоские постройки, реже — конструкции наподобие карманов или мешков. Различия между ними сводятся в основном к деталям формы или к особенностям строительного материала, а не к фундаментальным инженерным решениям. Так что истинные мастера архитектуры в мире животных — не высшие группы, такие как позвоночные, а насекомые, точнее общественные насекомые. Пчелиные, осиные гнезда, муравейники и термитники — все эти конструкции у разных видов насекомых различаются гораздо сильнее, чем сами их строители отличаются друг от друга по внешности или анатомическим особенностям. У термитов, например, рабочие особи почти всегда выглядят одинаково: мягкое брюшко, прикрепленное к округлой голове, снабженной челюстями-мандибулами. Однако постройки, возводимые ими, выглядят то как просто бесформенные груды, то как небоскребы под восемь метров высотой, то как египетские пирамиды, а иногда и как шары, висящие на ветках деревьев.

Нет ничего проще, чем приписать эти различия случайным причинам или же проявлению бессознательной коллективной деятельности глупых маленьких существ. Однако во многих из тех случаев, которые были исследованы всерьез, показано, что конструкция жилищ неизменна в пределах одного и того же вида. Стабильные детали сооружений термитов включают и такие, у которых нет видимых функций, например пустые камеры. Тем не менее термиты раз за разом создают их в новых постройках. Лишь в последние годы ученые стали понимать, с какой целью насекомые прибегают к этим на первый взгляд ненужным «архитектурным излишествам».

Загадочность ряда конструкций особенно бросается в глаза при изучении гнезд термитов *Macrotermes bellicosus* — одного из видов, «возделывающих» в своих жилищах симбиотический гриб *Termitomyces*. Подземные «сады», в которых за грибными плантациями ухаживают миллионы рабочих-садовников, окружены центральными башнями с островерхими, плотно запечатанными надземными частями. Вокруг центральных башен выстроены жилые, постоянно занятые камеры, в которых обитают и рабочие особи, и сама царица, однако на периферии от них имеется еще одно кольцо камер, которые выглядят так, как будто ими не пользуются. Термиты отделывают изнутри эти камеры твердым мелкопористым материалом, который пропускает внутрь них воздух, но непроницаем для потенциальных врагов.

Юдит Корб (Judith Korb) из Регенсбургского университета в Германии уже некоторое время специально занимается изучением именно этой особенности устройства гигантских термитников *Macrotermes*. Вооружившись лопатами, кирками и... термодатчиками, Корб с помощью своих коллег провела грандиозные раскопки и в результате выяснила, что кажущиеся бесполезными внешние камеры работают как огромные почвенные «легкие». В течение всего жаркого тропического дня нагретый воздух с высоким содержанием углекислого газа, выдыхаемого термитами, поднимается из жилых камер

в центральную часть постройки. Здесь стенки термитника имеют наименьшую толщину, и отсюда воздух с углекислым газом диффундирует вверх, в окружающую атмосферу. Если бы этого процесса не происходило, насекомые попросту задохнулись бы в своем подземном убежище. Но когда наступает ночь, более прохладный наружный воздух, богатый кислородом, опускается в нижние части жилища через открытые пустые наружные камеры. По мере того как поступает свежий воздух, он вытесняет из глубины термитника последние остатки «отработанного» воздуха вместе с содержащейся в нем двуокисью углерода. Особенности конструкции термитника *Macrotermes*, таким образом, хорошо приспособлены к климату, в котором обитают его строители. Итак, наружные камеры создаются термитами далеко не случайно и не бесцельно: благодаря им все население термитника может нормально дышать.

Дома, сооружаемые животными, равным образом создают их обитателям благоприятные микроклиматические условия и защищают их от других существ. Жилища термитов имеют очень толстые прочные стенки как раз по второй причине — вокруг них бродит целая армия любителей полакомиться этими нежными насекомыми, которые поодиночке практически беззащитны. Среди врагов термитов — трубконосы и муравьеды, панголины и ленивцы, а в Австралии, кстати, — еще и ехидны. Некоторые из этих животных фактически специализируются на питании термитами.

На протяжении последних 15 лет ученые разрабатывают изощренные математические модели, чтобы описать, как набор простых правил, существующих для отдельных особей, может в результате привести к созданию сложной постройки, подобной термитнику

Впрочем, толстые стенки — лишь один из множества вариантов защиты от внешних угроз. Так, описанный в 2014 г. новый вид дорожных ос семейства *Pompilidae*, *Deuteragenia ossarium*, защищает свое потомство от паразитов, «украшая» вход множеством резко пахнущих трупов муравьев, которых осы убивают специально для этих целей *(ее личинки развиваются не на муравьях, а на телах парализованных осой пауков. — Примеч. пер.)*. Про туннели для бегства мы уже писали. Белоногие хомячки живут на юго-востоке США, где змеиное население разнообразно и многочисленно, так что наличие запасного выхода, очевидно, служит приспособлением к жизни в одном биоценозе с этими опасными пресмыкающимися. Недавно выяснилось, что некоторые тропические муравьи держат вблизи выхода из своего жилища небольшие камешки. Если поблизости обнаруживаются бродячие муравьи-легионеры, угрожающие оседлым видам, стражники, охраняющие выход, наглухо замуровывают его этим камешком. Другие тропические муравьи обороняются против муравьев-легионеров с помощью особой касты особей-солдат, имеющих голову в виде пробки в точности такой ширины, которая требуется для плотной закупорки входов в муравейник. Птицы способны искусно камуфлировать свое гнездо, делая его невидимым на фоне окружающего пейзажа. Например, обыкновенный бегунок *(Cursorius cursor)* строит на земле гнезда, почти неотличимые от группы небольших камней, лежащих на голом песке.

Вероятно, главная проблема, связанная с наличием у живых организмов постоянных жилищ, — как избежать появления в них болезнетворных, часто смертельно патогенных микроорганизмов из числа бактерий или микроскопических грибков. Ученые только недавно осознали всю сложность этой проблемы и теперь пристально ее изучают. Так, выяснилось, что некоторые термиты строят гнезда из собственных фекалий, смешанных с другими материалами. Получающиеся органические кирпичики они инокулируют определенными штаммами актинобактерий, которые препятствуют поселению в термитнике смертельно опасных для насекомых микроскопических грибков, выделяя вещества фунгицидного действия. Муравьи-листорезы поступают совсем просто — они выращивают бактерий-защитников прямо на собственном теле.

Строительный кооператив

Допустим, мы детально изучили, в каких экологических условиях те или иные животные строят себе дома и какие проблемы заставляют их выбирать тот или иной тип конструкции. Предположим далее, что генетическая основа этой деятельности нам тоже ясна. Тем не менее у нас все еще остается сложнейший вопрос: как генетический код преобразуется в набор поведенческих навыков, использующихся в процессе строительства? В случае общественных насекомых очень соблазнительна простая идея, что вся колония подчиняется своему правителю — раздобревшей царице, у которой есть план. Но выясняется, что такого плана с большой буквы нет. Строительство сводится к внешне бессознательной деятельности множества особей, каждая из которых следует очень простым правилам. Однако когда эти правила непрерывно соблюдаются, в итоге возникают огромные термитники и муравейники, не говоря уже об удивительно правильной форме сот в пчелиных гнездах.

На протяжении последних 15 лет ученые разрабатывают все более изощренные математические модели, чтобы описать, как набор простых правил, существующих для отдельных особей, может в результате привести к созданию сложной постройки, подобной термитнику. В основе этих моделей лежит предположение, что «кирпичики», из которых создается термитник, несут в себе феромоны, стимулирующие строительную деятельность, некоторое время действующие, но в конце концов испаряющиеся. Итак, один рабочий термит кладет в строящуюся стенку пропитанный феромоном кирпичик, а другой, побуждаемый запахом, следует примеру первого. Этот процесс продолжается до тех пор, пока две стенки, наклоняющиеся друг к другу, не образуют крышу или купол. В принципе, смоделировать подобный процесс с помощью компьютера несложно. Но гораздо сложнее объяснить, почему стены и потолки выстраиваются таким образом, что в результате получаются камеры и туннели.

Похоже, и здесь в основе внешней сложности лежат простые правила, хотя логическая картина еще только начинает вырисовываться. Что касается, например, строительства «королевских покоев» (или маточной камеры) — помещения, в котором в термитнике обитает царица, то здесь все можно объяснить тем, что царица выделяет особый тип феромонов, которые не позволяют рабочим строить стенки слишком близко к ней. Таким образом, рабочие возводят здесь стенки и потолок на значительном расстоянии от «царственной особы». Ученые, изучающие строительство у насекомых, таких как осы или термиты, вовсе не думают, что в точности «знают», как создается гнездо, — скорее, они пытаются подобрать минимальный набор простых правил, необходимых для возникновения сложной гнездовой постройки. Ответ таков: этих правил буквально единицы, и они закодированы в генах, реализуясь затем в крошечном мозге этих существ.

В отличие от разнообразных, генетически обусловленной формы, гнезд насекомых и грызунов, создающихся часто в результате коллективной деятельности множества особей, жилища приматов выглядят весьма скромными. Например, шимпанзе и гориллы просто обрывают листья с деревьев и выстилают ими свое лежбище. Некоторым из моих коллег доводилось провести ночь на таком ложе, и они описывали его как «довольно удобное», хотя и «не слишком». Наши с вами предки едва ли умели в самом начале своего эволюционного пути создавать что-нибудь принципиально отличающееся от этой конструкции, пока, наконец, некоторые из них не решили заняться строительством всерьез. Используя язык для более согласованной работы, эти древние люди совместными усилиями начали создавать жилища из всего, что оказывалось под рукой: палок, глины, травы, листвы, — причем, в их генах не было заранее «прописано», что и из чего строить. Посмотрите на изображения жилищ, которые сооружают аборигенные народы по всему миру, и вы увидите, что по большей части их форма и конструкция совершенно функциональны и соответствуют окружающей природе и климату. В холодных регионах стены толще, а в жарких странах стен может не быть вовсе. Можно встретить традиционные жилища, напоминающие по устройству и термитники, и муравейники, и — на севере — даже подземные жилища шмелей.

Чем больше времени мы, люди, уделяем строительству, тем больше разнообразных функций берут на себя наши дома, становясь то символом положения в обществе, то произведением искусства, то культурным событием. Дома в современных жилых районах Аризоны очень похожи на дома в таких же современных кварталах Нью-Йорка, потому что таковы сейчас стандартные представления американцев о том, как должна выглядеть «благополучная» жизнь, — независимо от того, где живешь, каков здесь климат, что за хищники и бациллы таятся вокруг, — вообще независимо ни от чего. Мы освободили архитектуру от большинства ограничений, которые в природе направляют строительство жилищ теми или иными животными.

Недавно, впрочем, в человеческой архитектуре появилось новое направление, противоположное идее делать все по индивидуальному дизайну, будь то комнаты, двери или сады. Как мы с вами сейчас выяснили, строительство у животных определяется генами, кодирующими немногие простые правила. Но если термиты, следуя этим правилам, создают целые империи, то почему мы не можем сделать то же самое? Некоторые архитекторы именно это и пытаются сейчас осуществить. Конечно, масштабировать алгоритмы строительства гнезд у насекомых до размеров человеческих городов — задача, сопряженная с колоссальными вычислительными трудностями, но все возрастающая мощность компьютеров делает такие попытки реальностью. Впрочем, нам еще предстоит понять, какие алгоритмы оптимальны в тех или иных условиях, где лучше подражать термитам, где муравьям, а где пчелам. Мы стоим на пути к решению многих из этих проблем, но не более того. И поэтому наблюдать за тем, как величественные строения из слюны и грязи дюйм за дюймом возводятся над землей крошечными насекомыми, — значит осознавать, что самая древняя архитектура на Земле все еще продолжает хранить свои тайны. ■

Перевод: В.Э. Скворцов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

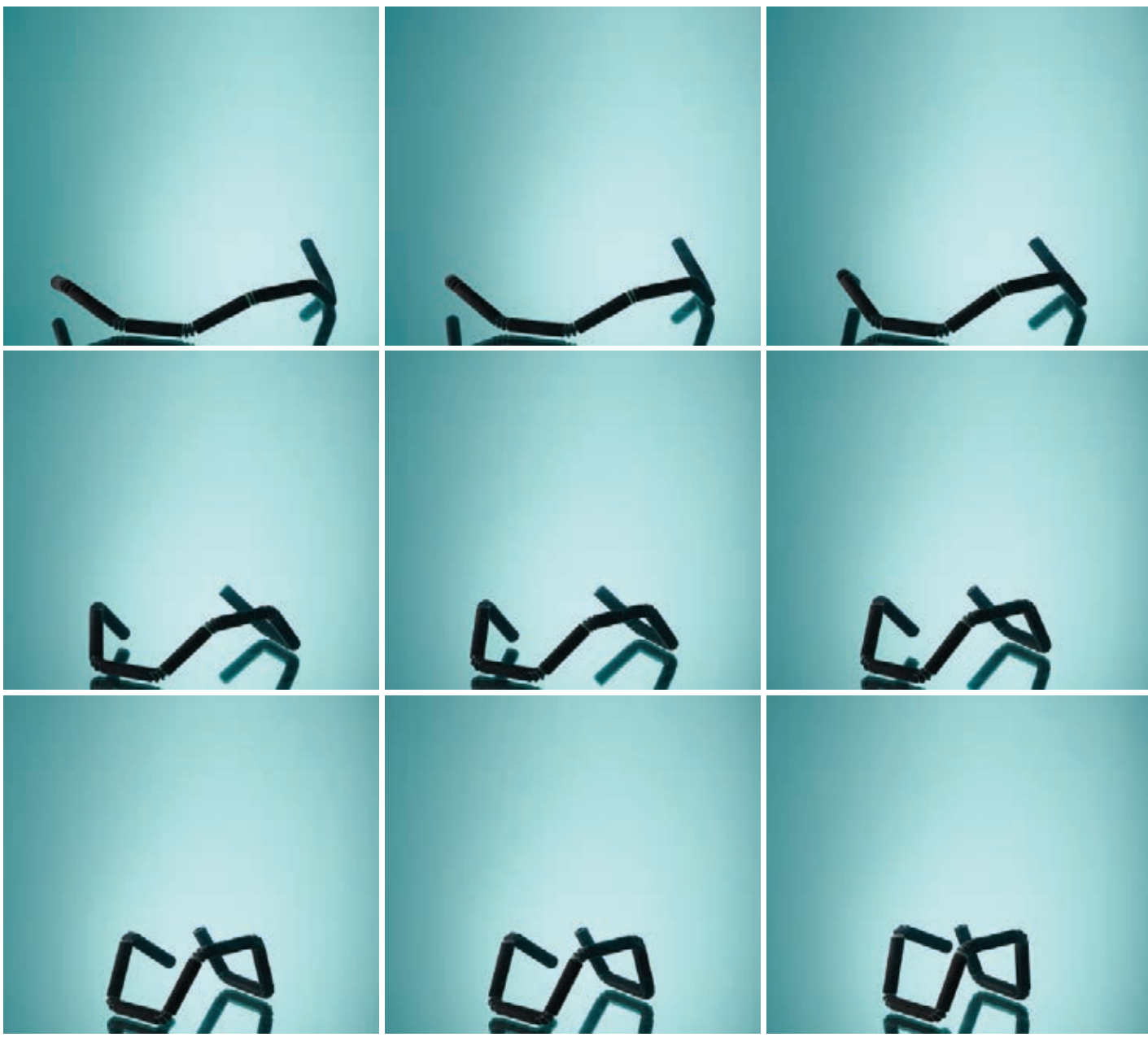
■ Discrete Genetic Modules Are Responsible for Complex Burrow Evolution in Peromyscus Mice. Jesse N. Weber, Brant K. Peterson and Hopi E. Hoekstra in Nature, Vol. 493, pages 402–405; January 17, 2003.

■ The Evolution of Burrowing Behavior in Deer Mice (Genus Peromyscus). Jesse N. Weber and Hopi E. Hoekstra in Animal Behaviour, Vol. 77, No. 3, pages 603–609; March 2009.

Инженерия

ПРОГРАММИР МИР

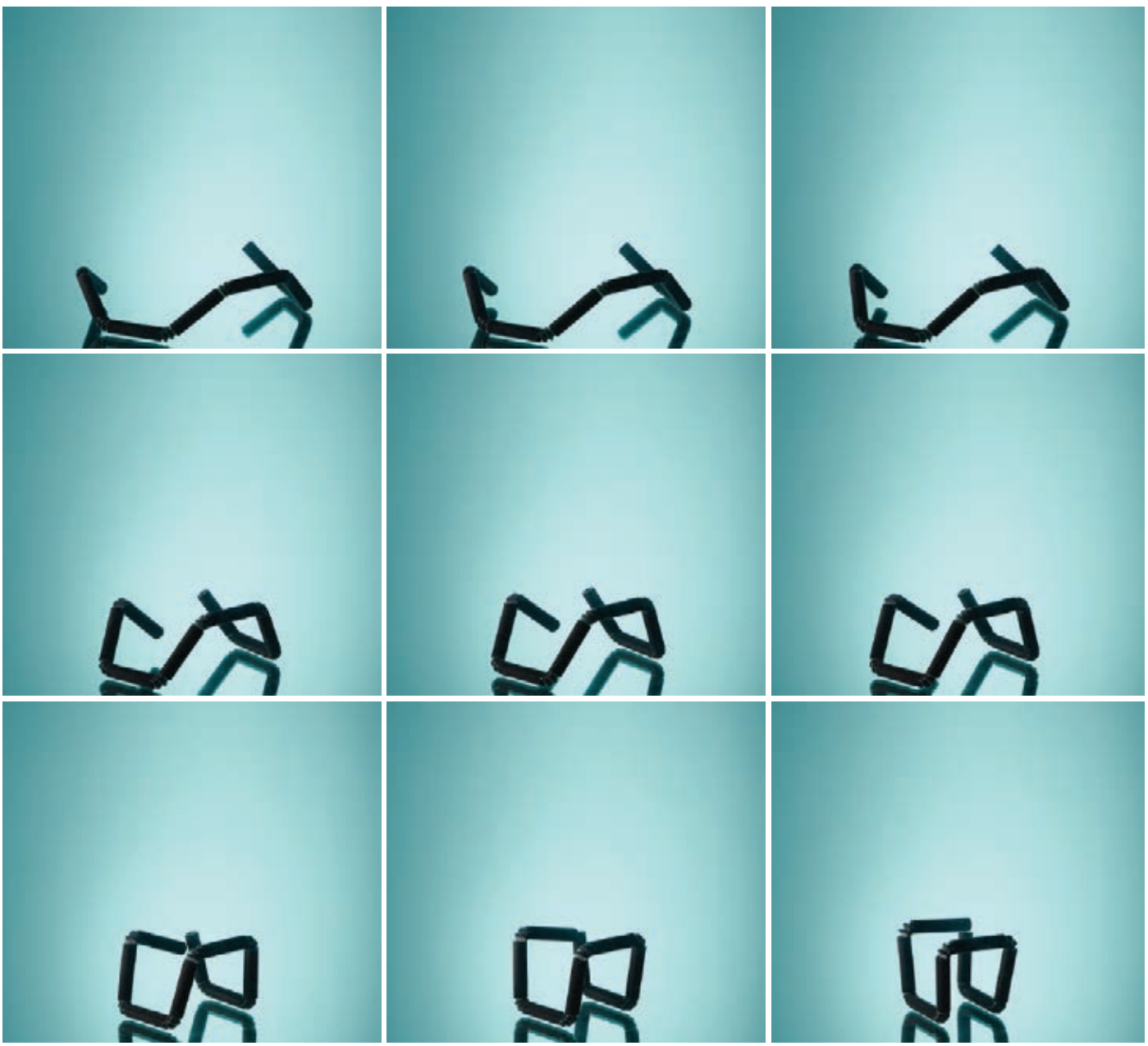
Баннинг Гарретт,
Томас Кэмпбелл
и Скайлар Тиббитс



Photographs by Travis Rathbone

МИРУЕМЫЙ

Благодаря появлению инновационных материалов, 3D-принтеров и новых методов проектирования человечество сможет создавать объекты, способные по команде осуществлять самосборку, изменять свои форму и свойства



***«Программируемые» объекты** меняют свои форму и свойства при воздействии на них внешних факторов; на фотографии показан пример такого объекта — полимерная проволока, распечатанная на 3D-принтере и превращающаяся в проволочный куб после погружения в воду*

ОБ АВТОРАХ

Баннинг Гарретт (Banning Garrett) — стратегический политолог в Вашингтоне, исследует долгосрочные глобальные тенденции и воздействие технологий на общество. Автор статей более чем в 20 журналах и информационных агентствах.

Томас Кэмпбелл (Thomas A. Campbell) — научный сотрудник и профессор Лаборатории передовых технологий и прикладной науки при Политехническом университете Виргинии и внештатный старший научный сотрудник при Атлантическом совете.

Скайлар Тиббитс (Skylar Tibbits) — директор Лаборатории исследования самосборных систем, занимается исследовательской работой в отделе архитектуры в Массачусетском технологическом институте.

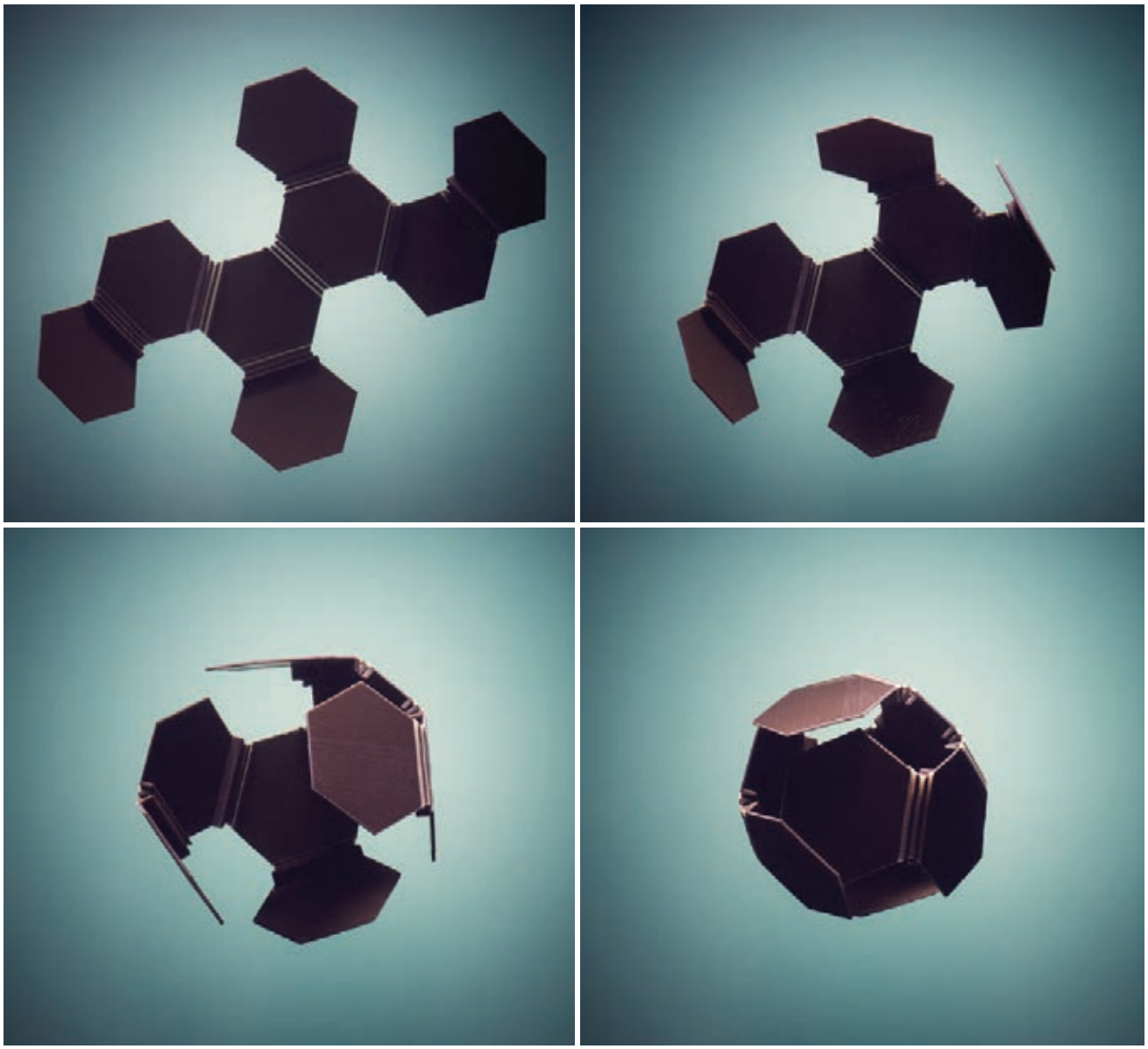
Чтобы дать читателю представление о программируемых материалах, из которых человек в будущем станет создавать не только роботов, самостоятельно меняющих свою форму, но и дома, способные строить сами себя в буквальном смысле этого слова, давайте обратимся к простому примеру — водопроводным трубам. При прокладке водопровода мы кладем в грунт трубы, созданные из жесткого материала, обладающего фиксированными свойствами. И все бы хорошо, пока нам вдруг не потребуется увеличить объем водоснабжения или же пока они не лопнут, — в этих случаях ничего не поделаешь, приходится выкапывать старые трубы и класть новые.

Напрашивается мысль: а что если вместо этой утомительной работы по ремонту коммуникаций сразу взять и проложить трубы, свойства которых менялись бы при определенных условиях — скажем, при изменении напора воды? Что если сразу использовать трубы, которые в случае прорыва сами могли бы заделывать в себе повреждения? И такие трубы можно будет создавать благодаря последним достижениям в области компьютерного моделирования и материаловедения. В связи с ними стало возможным создание множества разнообразных программируемых материалов, из которых человек будет изготавливать объекты, способные к самоорганизации, — такие, которые смогут сами себя собирать и выстраивать, изменяя при этом свои форму и свойства при внешнем воздействии.

Ученые уже научились создавать самосборные механизмы, правда пока совсем крошечные, наноразмерные: они используются в качестве биохимических датчиков, электронных устройств и средств доставки лекарственных веществ внутри организма человека. Однако

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Наука, изучающая программируемые материалы, занимается разработкой и созданием объектов, которые со временем приобретут заданные или запрограммированные свойства и форму.
- С помощью послойной 3*D*-печати объектов, изготовленных из программируемых материалов, человек сможет создавать роботов, меняющих свои свойства, спутники, собирающие самих себя на орбите, а кроме того самосборную мебель и даже дома, которые будут строить сами себя.
- Хакеры, а также сбои в работе — вот угрозы для устройств, созданных из программируемых материалов. Кроме того, программируемые материалы сильно усложнят право интеллектуальной собственности.



Самосборные устройства *созданы из материалов, которые в местах перегиба расширяются или сжимаются под воздействием тепла, света, электричества и других внешних факторов. На фото показана пластинка, которая после погружения в воду сама собой складывается, формируя октаэдр.*

более интересно создавать программируемые материалы, по размеру более близкие к человеку. Как это сделать? Двумя способами. Первый заключается в том, чтобы изготавливать отдельные блоки, элементарные «строительные кирпичики», которые могли бы, самостоятельно объединяясь друг с другом или разъединяясь, формировать тем самым программируемые структуры более высокого уровня. Второй подход заключается в том, чтобы создавать монолитные объекты, которые при определенном внешнем воздействии изменяют свою форму благодаря тому, что в них запрограммированы определенные свойства, т.е. заранее определены линии перегиба, обозначены участки концентрации напряжения и вставлены электронные схемы. Этот второй подход мы и называем четырехмерной (или *4D*) печатью. Сначала используется *3D*-печать: принтер создает объект путем послойного распределения вещества; в результате на выходе мы получаем деталь нужной конфигурации. Однако впоследствии — и в этом особенность *4D*-печати — «напечатанные» таким образом изделия могут через определенный промежуток времени менять свои форму и свойства.

Программируемые материалы позволяют экономить электроэнергию, снижать расходы на сырье и рабочую силу. Представим себе стул, который каким-то чудом превращается в стол. Или же представьте эластичные водопроводные трубы, которые заделывают трещины сами в себе. С помощью программируемых материалов сложные механизмы будут сами собирать и выстраивать

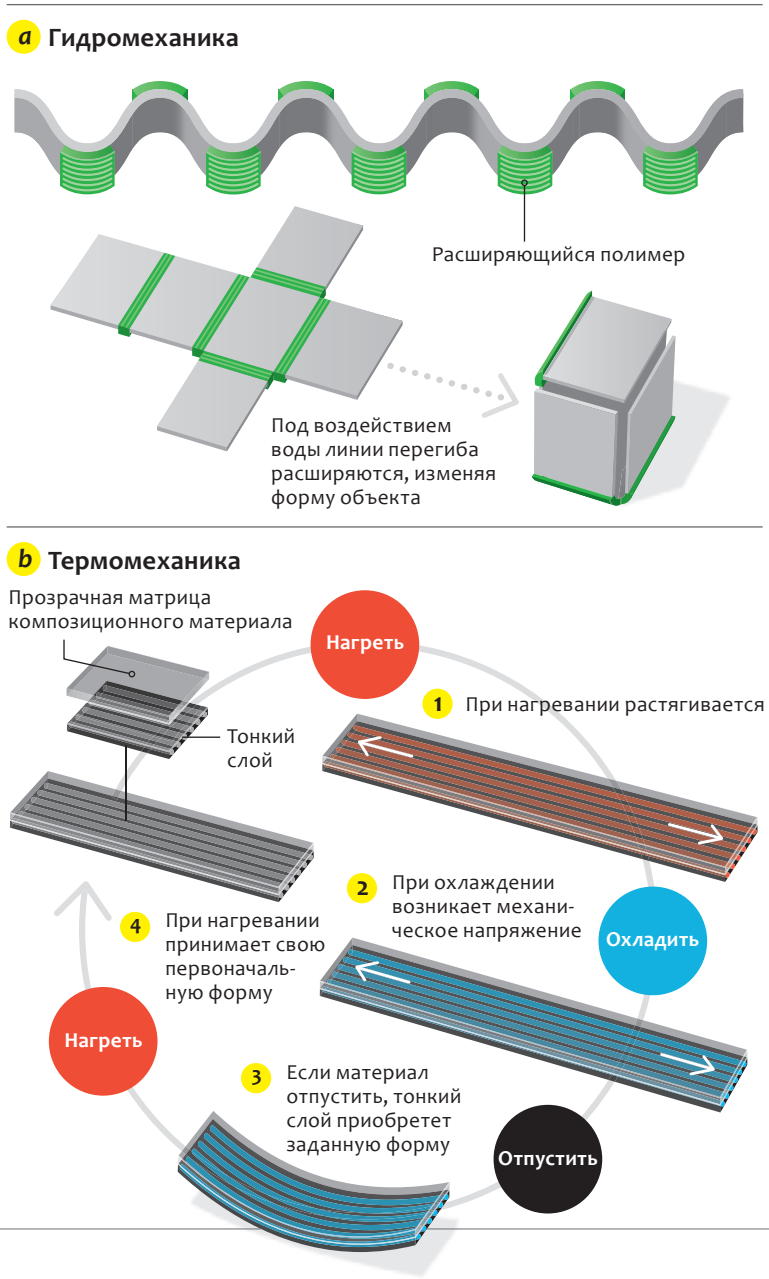
себя без человеческого участия. Это качество особенно ценно в экстремальных условиях, например в космосе. Можно будет запускать на орбиту небольшой упакованный контейнер, который будет сам из себя собирать спутник. Прямо на орбите можно будет превращать одни системы в другие, скажем, трансформировать солнечную батарею в параболическую антенну или специальный модуль.

Но с появлением программируемых материалов возникает и множество новых рисков и проблем. Представьте себе, что окружающие нас объекты вдруг взламываются хакерами, крылья самолета не хотят менять свою стреловидность, а жилое строение вместе с ничего не подозревающими жильцами по команде извне складывается, как карточный домик. Кроме того, в результате появления программируемых материалов существенно усложнится право интеллектуальной собственности: ведь такие изделия меняют свои очертания, переходя из одной формы в другую, — все это повлечет за собой проблемы, с которыми Бюро по регистрации патентов и торговых марок США вообще никогда не сталкивались. Словом, наличие рисков — еще одна веская причина, по которой уже сейчас следует серьезно рассмотреть эту революционную технологию — программируемые материалы — с тем, чтобы с самого начала заложить в нее механизмы контроля и держать ее в приемлемых рамках.

Принципы действия

4D-ПЕЧАТЬ

Существует несколько способов программирования материалов. Один из авторов нашей статьи (Скайлар Тиббитс) использовал *3D*-принтеры для создания объектов, компоненты которых связаны между собой с помощью полимера, расширяющегося при погружении в воду (*a*). В результате этого плоская полоска становится волнистой, а двумерный массив, состоящий из шести квадратов, преобразуется в куб. Джерри Ци (H. Jerry Qi) и Ци Гэ (Qi Ge) из Колорадского университета и Мартин Данн (Martin L. Dunn) из Сингапурского университета технологии и дизайна использовали *3D*-принтеры для печати композитных объектов, которые меняют свою форму при нагревании или охлаждении (*b*).



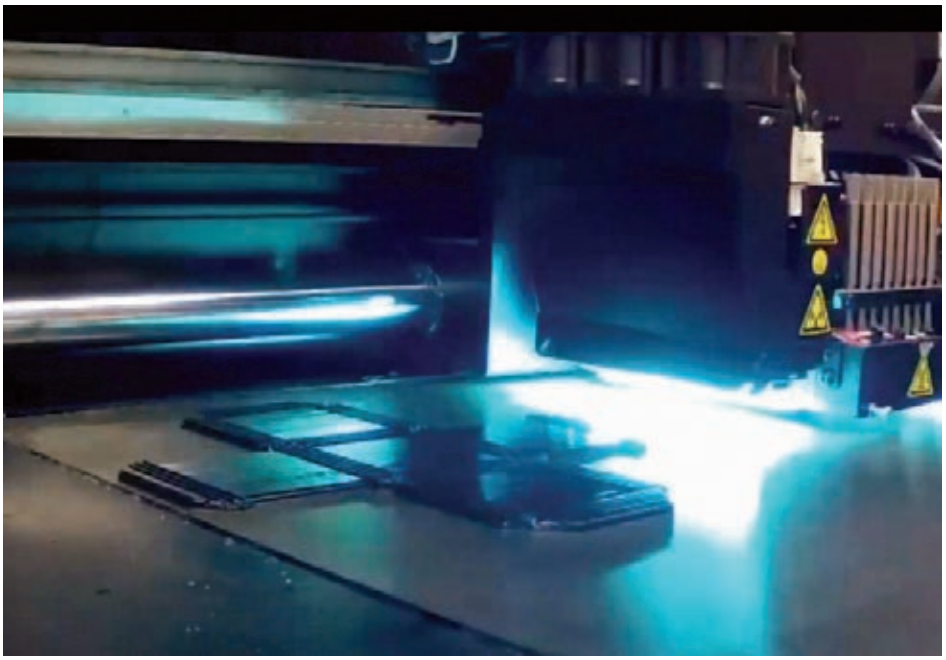
Сборка без участия человека

Кое-кто из ученых, особо одаренных бурным воображением, еще в начале 1990-х гг. постоянно говорил о программируемых материалах, однако всеобщий интерес эта тема вызвала только в 2007 г., после того, как знаменитое Управление перспективных исследований Министерства обороны США *(DARPA)* начало финансировать проект под названием «Программируемый материал» *(Programmable Matter)*. *DARPA* разработало долгосрочный план по созданию микроскопических роботизированнх систем, которые способны превращаться в более крупные системы военного назначения, такие как физические дисплеи и специализированные антенны. За несколько лет ученые добились успехов в создании крошечных роботов, способных менять свою форму; размеры этих искусственных созданий достигают всего несколько миллиметров — не больше диаметра грифеля карандаша.

Один из авторов этой статьи (Скайлар Тиббитс) занимается проблемой создания с помощью *4D*-печати таких

SOURCE: "ACTIVE MATERIALS BY FOUR-DIMENSION PRINTING," BY QI GE, H. JERRY QI AND MARTIN L. DUNN, IN APPLIED PHYSICS LETTERS, VOL. 103, NO. 13; 2013; Illustration by John Grimwade

устройств, на которые не нужно было бы устанавливать механизмы, привычные для роботов (моторчики, провода, электронную начинку). В Лаборатории исследования самосборных систем *(SAL)* при Массачусетском технологическом институте *(MIT)* Тиббитс вместе с коллегами создал объект, напоминающий змею и изготовленный из специального полимера, который после погружения в воду сам собой раскладывается, образуя буквы *MIT*. Кроме того, ученые также создали такие любопытные изделия, как полимерная нить, которая переводит аббревиатуру *MIT* в *SAL*; плоская пластинка, которая самостоятельно складывается, образуя октаэдр; плоский диск, который при контакте с водой преобразуется в изогнутую структуру, напоминающую фигурку оригами.



3D-принтеры, *такие как Objet500 Connex компании Stratasys для печатания изделий из композитных материалов, могут в процессе печати внедрять в изделие полимеры, увеличивающиеся в объеме, и другие функциональные материалы*

Кристофер Уильямс (Christopher B. Williams) из Политехнического университета Виргинии напечатал на *3D*-принтере гибкие конструкции, в которые он внедрил проволочки, изготовленные из специальных сплавов, и электронные схемы. Вскоре после завершения печати эта конструкция под воздействием внешнего сигнала «ожила» и стала изменять свою форму. Данный подход открывает большие перспективы в робототехнике, при сборке мебели и в строительстве.

Уильямс и один из авторов нашей статьи (Томас Кэмпбелл) пошли еще дальше: они объединили *4D*-печать и наноматериалы. Если в процессе печати в объект внедрить наноматериалы, то на выходе получатся многофункциональные нанокомпозиты, способные изменять свои свойства при воздействии на них электромагнитных волн (обычного света или ультрафиолетового излучения). Например, ученым удалось напечатать логотип *Virginia Tech* со встроенными в него наноматериалами, которые меняют цвет в зависимости от освещения. В ходе дальнейшей эволюции таких материалов появится новый класс датчиков, которые можно будет встраивать в медицинские приборы, контролирующие у пациентов артериальное давление, уровень инсулина и другие параметры.

Вычислительные возможности — слабое звено

Сейчас мы уже научились печатать жесткие, неэластичные логотипы типа *MIT* и *Virginia Tech*: для этой цели достаточно задать нужные параметры на *3D*-принтере. Другое дело — печать объектов, меняющих со временем свою форму; для этого необходимо добавить, скажем, такие параметры, как расположение точек концентрации напряжения и точек перегиба, а также характеристики наноматериалов, встроенных в объект. Но в этом случае при проектировании возникают сложные вычислительные задачи, решить которые пока что не под силу современным системам автоматизированного проектирования (САПР).

Допустим, мы хотим напечатать некий объект, скажем, стол, который затем трансформируется в стул. С точки зрения топологии существует множество способов, позволяющих получить из стола стул, однако большинство из них в реальном мире не работают, поскольку

Если в процессе печати в объект внедрить наноматериалы, то на выходе получатся многофункциональные нанокомпозиты, способные изменять свои свойства при воздействии на них обычного света или ультрафиолетового излучения

COURTESY OF SELF-ASSEMBLY LAB AT MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, STRATASYS, LTD., AND AUTODESK, INC.

в процессе трансформации различные части объекта «запутаются» друг в друге. Понятно, что для решения этой задачи необходимо выработать модель всего процесса. С этой целью ученые создали целую библиотеку элементарных действий, используемых при сложной деформации любого нужного нам объекта, например такие: «сгибание», «растягивание», «скручивание», «сжимание» и т.д. Получается, что сложная деформация всего объекта целиком зависит от суммы составляющих ее элементарных деформаций. Объекты можно конструировать двумя способами: или с помощью последовательного набора команд (например, «согнуть» — «согнуть» — «растянуть»), или задать команды логически («если произойдет деформация *A* — выполнить *B*», «если произойдет деформация *B* — выполнить *C*»).

Сложность этих комбинированных движений возрастает столь быстро, что весь процесс деформации трудно предсказать. Вот почему если мы хотим, чтобы программируемые материалы действительно вошли в нашу жизнь, то необходимо прежде всего уделить повышенное внимание разработке компьютерного софта, способного моделировать трансформацию объектов и переводить их на язык команд принтера. Для решения этих задач (скажем, «запутывания» частей, составляющих объект, в процессе его трансформации) разработчикам необходимы мощные компьютеры и программное обеспечение. Чтобы решить эту проблему, группа Тиббитса вместе с компанией — разработчиком программного обеспечения *Autodesk* приступила к проекту *Cyborg*, цель которого — моделирование и оптимизация сборки объектов, состоящих из программируемых материалов. С помощью конструкторского софта *Cyborg*, а также *3D*-принтера компании *Stratasys* для печати композитных материалов и разработанного ею полимера, который при погружении в воду расширяется на 150% от своего объема, Тиббитсу и его коллегам удалось создать самосборный логотип *MIT* и другие объекты.

До сих пор большинство программируемых материалов были относительно несложными; при их создании использовался один тип сочленений и два материала. Но уже разработаны программируемые материалы, позволяющие создавать более сложные устройства. Правда, здесь мы пока ограничены маломощностью наших вычислительных систем, воображением и законами физики.

Воксель как элементарный кирпичик

Более четкое представление о том, что такое программируемая материя, может дать воксель, т.е. объемный пиксель. В информационных технологиях воксель — это аналог двумерного пикселя, но только в трехмерном пространстве. Если мы возьмем программируемую материю, то воксель станет тем элементарным кирпичиком, из которого создаются более сложные конструкции. Воксель может быть синтетической частицей самых разных размеров, созданной из различных материалов, начиная от кремния и керамики и заканчивая пластиком и титаном. Можно задавать характеристики каждого элементарного вокселя, чтобы он вел себя как аккумулятор, приводящее устройство, датчик, проводник или изолятор, защитная оболочка, антенна и даже компьютер. С помощью вокселей можно превращать одни объекты в другие, предварительно соединив воксели в единый массив и запрограммировав их на то, чтобы они меняли форму и свойства.

Более четкое представление о том, что такое программируемая материя, может дать воксель, т.е. объемный пиксель. В информационных технологиях воксель — это аналог двумерного пикселя, но только в трехмерном пространстве. Если мы возьмем программируемую материю, то воксель станет тем элементарным кирпичиком, из которого создаются более сложные конструкции

В своей новой книге «Произведено: новый мир *3D*-печати» *(Fabricated: The New Wolrd of 3D Printing)* Ход Липсон (Hod Lipson) и Мелба Курман (Melba Kurman) для объяснения понятия «воксель» проводят следующую аналогию между программируемой материей и биологической жизнью: белок в живых организмах состоит из 22 кирпичиков-аминокислот. «Получается, что в основе биологического разнообразия лежат всего какие-то два десятка элементов (аминокислот); точно так же можно создать несколько вокселей базовых типов, и это откроет перед нами широкие перспективы», — уверяют нас Липсон и Курман. Воксели могут быть твердыми и мягкими, проводниками тока в проводах и электрических схемах, состоящих в свою очередь из вокселей-резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности и транзисторов. «Добавим сюда еще воксель-привод и воксель-датчик — получится робот», — полагают авторы книги.

Подобные роботы представляют собой немалый интерес для армии США. Военное ведомство Соединенных Штатов уже работает над созданием запчастей для кораблей и военной техники с помощью *3D*-печати, поскольку данный метод позволяет избежать затрат на транспортировку и хранение тысяч запасных деталей, экономит время и складские помещения. А если появятся программируемые материалы, то экономия станет еще более значительной. Представьте себе ведро вокселей на подводной лодке. Если какая-то деталь выйдет из строя или понадобится какой-нибудь инструмент, то вам просто надо будет взять набор вокселей и запрограммировать их, чтобы они сами создали нужную вещь. Если инструмент больше не нужен, то мы даем команду на его саморазборку, в результате чего у нас остаются воксели, которые затем можно использовать для изготовления других инструментов и деталей.

Помимо создания инструментов и запчастей программируемые материалы позволят делать спецобмундирование, способное усиливать или уменьшать теплоизоляцию в зависимости от условий окружающей среды и биометрических данных человека, который его носит. В 2014 г. военное ведомство США инвестировало около миллиона долларов в проект, предусматривающий использование *4D*-печати для создания так называемого динамического камуфляжа. Давайте перенесемся в будущее и помечтаем: представьте, что программируемые материалы уже используются при создании роботов; они могут изменять свою форму, буквально просачиваясь сквозь препятствия, подобно тому, как это делал отрицательный персонаж фильма «Терминатор 2» робот *T*-1000.

Когда-нибудь в будущем человечество научится использовать программируемые материалы в строительстве, причем как в военной, так и в гражданской сферах. Представьте, что появятся здания, которые будут строить себя сами. Вместо того чтобы класть кирпичи и мешать раствор, нужно будет просто заполнить котлован программируемым материалом нужного объема, а затем дать команду «увеличься в размерах» или «стань устойчивым» — и прямо перед нашими глазами появится здание с проложенными в нем электросетью и водопроводной системой. При строительстве обычных домов такую технологию применять, наверное, не стоит, но в агрессивной среде или при чрезвычайных обстоятельствах — скажем, в зоне боевых действий или на поверхности Марса — самосборные строения подойдут в самый раз.

Программируемые материалы и будущее

Мы рассказали лишь о нескольких идеях, которые хотят воплотить ученые. Представьте себе крылья самолета, изменяющие стреловидность в зависимости от температуры и сопротивления воздуха, — неплохо, правда? А как вам шины, которые, подстраиваясь под дорожное полотно и погодные условия, сами регулируют сцепление колес с дорогой? Материалы, которые восстанавливают себя сами, можно с успехом использовать, например, в самолетах. Они подойдут и для мостов, адаптируя несущие конструкции к изменениям транспортного потока и даже к землетрясениям. А как вам самосборная мебель? Любой завсегдатай магазинов *IKEA* будет безмерно счастлив купить, скажем, гарнитур, который умеет сам себя собирать.

В основе этих фантастических идей лежат реальные инженерные наработки и научные достижения. Правда, еще остались проблемы. Программируемые материалы ставят задачи не только программистам, но также материаловедам и технологам. Для создания самосборных логотипов *MIT* и *Virginia Tech*, реагирующих на изменение света, необходимы полимеры принципиально нового типа. А какие материалы нужны для возведения самосборного дома и «умных» крыльев самолета, изменяющих стреловидность в зависимости от окружающих условий? Допустим, нам удалось создать строительные блоки, но остается еще одна трудная задача: как получить из них большие составные объекты? За счет чего воксели будут держаться вместе? Как их надо запрограммировать для этого и какие именно виды энергии нужно использовать для осуществления самосборки?

Представим, что все эти задачи решены, но остались еще и другие, о которых мы упоминали ранее, — хакерские угрозы и вопросы интеллектуальной собственности. С ними необходимо разобраться в самое ближайшее время. В последние полтора года Тиббитс в сотрудничестве с несколькими компаниями участвует в разработке новых программируемых материалов, изделий и строительных систем, а Кэмпбелл и Уильямс совместно с одной из компаний изучают возможность использования *4D*-печати наноматериалов для борьбы с контрафактной продукцией. Словом, дом, который строит себя сам, — это не столь уж и отдаленное будущее. ■

Перевод: И.В. Ногаев

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Симан Н. Нанотехнологии и двойная спираль // ВМН, № 9, 2004.
- Additive Manufacturing (AM) and Nanotechnology: Promises and Challenges. Olga Ivanova et al. in Rapid Prototyping Journal, Vol. 19, No. 5, pages 353–364; 2013.
- Fabricated: The New World of 3D Printing. Hod Lipson and Melba Kurman. Wiley, 2013. 4D Printing: Multi-Material Shape Change. Skylar Tibbits in Architectural Design, Vol. 84, No. 1, pages 116–121; January/February 2014.
- The Next Wave: 4D Printing: Programming the Material World. Thomas A. Campbell, Skylar Tibbits and Banning Garrett. Atlantic Council, May 2014. www.atlanticcouncil.org/images/publications/The_Next_Wave_4D_Printing_Programming_the_Material_World.pdf

«Атлант» расправил плечи. Тодд Райхерт сидит в седле системы управления летательного аппарата *Atlas*, а Кэмерон Робертсон регулирует натяжение тросов

Невероятный полет

По мнению специалистов, вертолет, приводимый в движение мускульной силой человека, летать не может. Однако двое молодых конструкторов доказали обратное — и в результате получили четверть миллиона долларов

Дэвид Нунан

REED YOUNG

ОБ АВТОРЕ

Дэвид Нунан (David Noonan) — независимый журналист, пишущий на научные темы; бывший главный редактор журнала *Newsweek*.

Когда в 2011 г. Тодд Райхерт (Todd Reichert) и Кэмерон Робертсон (Cameron Robertson) решили построить вертолет на мускульной тяге, который мог бы подняться на высоту не менее 3 м и зависнуть на 60 секунд, никто не верил, что им это удастся.

Специалисты пришли к такому выводу после 30 лет аварий и крушений. Все началось в 1980 г., когда Американское вертолетное общество (ныне *AHS International*) объявило конкурс на создание педального летательного аппарата, управляемого человеком, с призовым фондом, размер которого со временем достиг $250 тыс. Согласно всем имеющимся данным, один пилот просто не способен выработать столько энергии, чтобы аппарат мог подняться на данную высоту и оставаться в воздухе указанное время. Авиационный инженер Антонио Филиппоне (Antonio Filippone) из Манчестерского университета в Англии просмотрел номера «Журнала Американского вертолетного общества» за 2007 г. и официально заявил, что сама идея бесперспективна и любой аппарат, созданный на ее основе, просто не взлетит. По его словам, «требования <…> Американского вертолетного общества <…> практически невыполнимы».

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Более 30 лет авиаконструкторы безуспешно пытались создать вертолет, приводимый в движение мускульной силой человека, который мог бы оторваться от земли и зависнуть в воздухе на одну минуту. Чтобы воодушевить авиаконструкторов, Американское вертолетное общество учредило приз Сикорского, но он никак не мог найти своего обладателя.
- Два конструктора из Торонто, Тодд Райхерт и Кэмерон Робертсон, смогли поднять летательный аппарат в воздух, располагая ограниченным количеством энергии, с помощью огромных несущих винтов. Вопреки всем предсказаниям в прошлом году они выиграли заветный приз.
- Летательный аппарат, построенный немногочисленной командой с использованием легкодоступных материалов, стал доказательством того, что революционные разработки — не прерогатива только крупных высокотехнологичных компаний.

Райхерт и Робертсон, 32 и 27 лет соответственно, узнали о статье Филиппоне, когда уже получили денежную премию и приз Сикорского, учрежденные Американским вертолетным обществом: в июне 2013 г. они совершили полет на своем гигантском летательном аппарате под названием «Атлант» *(Atlas)*, оснащенном четырьмя винтами, которые приводились в движение с помощью велосипедных педалей.

Похожий на гигантскую игрушку, собранную из деталей детского конструктора, сделанного для Пола Баньяна, *Atlas* имеет четыре длинные скелетообразные консоли, изготовленные из трубок из углеродного волокна и тросов из высокотехнологичных нитей. Все это собрано в громадную *X*-образную арочную конструкцию, размер которой по диагонали составляет 26,4 м. На концах консолей установлены четыре несущих винта диаметром 20 м каждый с нервюрами из легкой древесины бальсового дерева, обтянутыми прозрачной лавсановой пленкой. К центру конструкции, находящемуся на высоте 3,6 м над землей, на тросах подвешен специальным образом модифицированный гоночный велосипед. Сидя в седле, Райхерт выполняет роль двигателя аппарата: с помощью педалей и сложной системы катушек и тросов он вращает лопасти винтов. Вырабатываемой им энергии достаточно, чтобы поднять в воздух летательный аппарат весом 55 кг.

64-секундный полет летательного аппарата *Atlas*, совершенный после многочисленных неудач прежних претендентов, продемонстрировал, что в эру, где правят бал большие коллективы конструкторов, работающих для таких гигантов авиастроения, как корпорации *Lockheed Martin* и *Northrop Grumman*, небольшая группа изобретательных энтузиастов тоже способна решать самые сложные задачи. Бенджамин Хейн (Benjamin Hein), главный конструктор компании *Sikorsky Aircraft* и председатель комитета конкурса на приз Сикорского 2013 г.,

Все выше и выше. *В 2013 г. Atlas с его четырьмя огромными несущими винтами поднялся в воздух, совершив полет, которого так долго ждали. Все происходило в помещении закрытого футбольного стадиона близ Торонто. Райхерт, висящий вместе с велосипедом под лопастями, изо всех сил крутил педали, удерживая летательный аппарат на высоте более 3 м в течение 64 секунд.*

отмечает, что молодым конструкторам удалось найти оптимальные размер и вес летательного аппарата с крайне ограниченным источником энергии, разработать наилучший вариант конструкции несущего винта и эффективную систему управления полетом. По его мнению, из этой работы можно извлечь несколько важных для авиастроения уроков, главный из которых — возможность быстрого изменения основной конструкции в случае неудачи. «Это именно то, чего не могут сделать крупные компании», — утверждает Хейн.

Еще одной демонстрацией потенциала небольшой компьютерной программы, которую Райхерт и Робертсон разработали для оптимизации своей конструкции, служит то, что она теперь стала частью программного обеспечения и инструментария *NASA*, используемого для создания летательных аппаратов, которые предназначены для гораздо более продолжительных полетов, чем *Atlas*. В следующем году эти двое инженеров собираются с помощью своей программы сконструировать самолет, приводимый в движение силой мышц человека, чтобы участвовать в соревнованиях на приз Кремера за создание первого летательного аппарата этого типа (мускулолета), который преодолеет расстояние в 40 км между контрольными точками менее чем за один час. (Действующий рекорд скорости подобного аппарата составляет 44 км/ч, и установлен он во время полета продолжительностью чуть более двух минут.)

Говоря о Райхерте и Робертсоне, нельзя не вспомнить о двух талантливых авиаторах-самоучках — братьях Орвилле и Уилбуре Райтах. Как и их знаменитые предшественники, наши молодые люди страстно увлечены пилотируемыми полетами на аппаратах тяжелее воздуха. Они начали свою деятельность, будучи еще студентами Университета Торонто, а теперь создали команду единомышленников *AeroVelo* — как они ее называют, «конструкторскую и рационализаторскую лабораторию». По словам Райхерта, они хотят «показать людям, сколь многого можно достичь, если во главу угла поставить эффективность». Именно поэтому они в основном используют материалы, которые известны уже десятки лет, например древесину бальсового дерева, пенопласт и майлар, и по этой же причине остановились на использовании силы мышц человека. Это значит, что они не могут просто пойти и купить более мощный двигатель. «Вы должны решать стоящие перед вами задачи, не прибегая к другим источникам энергии. Вы не можете просто так взять и увеличить ее», — говорит Робертсон. И, конечно, владельцы велосипедной мастерской Уилбур и Орвилл высоко оценили бы ведущую роль велосипеда в изобретениях Райхерта и Робертсона. Помимо «Атланта» последние создали летательный аппарат с машущими крыльями, названный орнитоптером. Его двигателями тоже служат мышцы человека, вращающие педали велосипеда.

COURTESY OF MARTIN TURNER Visiblize.com

1

Но больше всего Райхерта и Робертсона роднит с братьями Райт их подход к делу. «Братья Райт были блестящими механиками, — говорит Райхерт. — Они знали, как изготовить детали и как собрать их в единую конструкцию, но кроме того они придерживались строго научного подхода, а это лучшее сочетание, необходимое для достижения успеха».

Канадские конструкторы — не специалисты вертолетостроения, а потому попросту не вникали в научные статьи, которые предрекали им полный провал. Зато им было хорошо известно, что на сложные расчеты, которые предстояло проделать, уйдут часы дорогостоящего времени работы суперкомпьютеров, а это им не по карману. Еще чутье подсказывало, что разработанные программы необходимо усовершенствовать, чтобы их можно было использовать в аэронавтике, где элементы конструкции и аэродинамические компоненты создают отдельные коллективы и многократно их дорабатывают. Этот процесс, по словам Робертсона, приводит к «результатам, несовершенным как с аэродинамической, так и с конструкторской точек зрения».

Подводя итог, можно сказать: все, что им было нужно, — это программа, которая одновременно объединяла бы параметры конструкторских и аэродинамических элементов, специфичных для мускололетов вертолетного типа. Конечно же, она должна была быть недорогой, но быстродействующей.

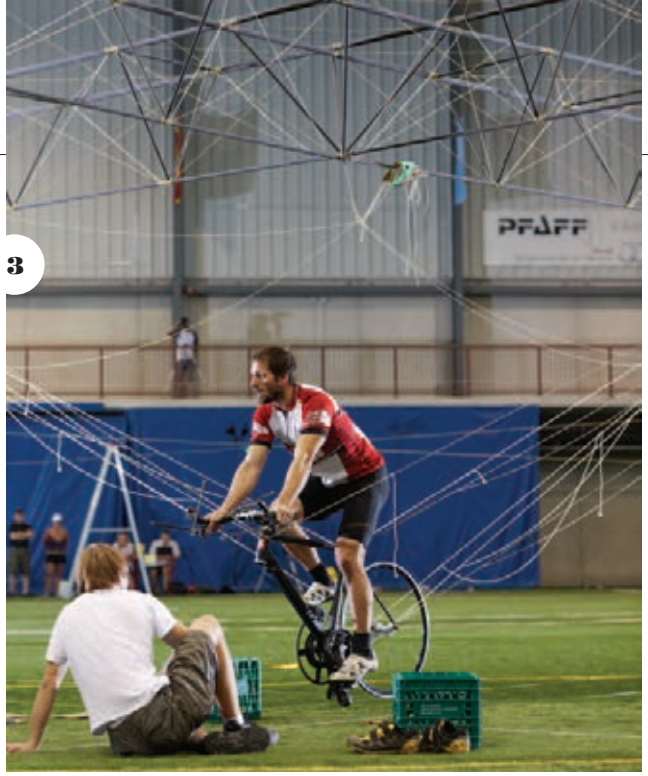
В результате напряженного пятимесячного марафона Райхерт и Робертсон с помощью своих ноутбуков создали такую программу, частично использовав более ранние разработки Райхерта по созданию орнитоптера, за которые он получил докторскую степень. Чтобы вместо сверхмощного компьютера можно было обойтись ноутбуком, они решили отказаться от высокоточного моделирования и довольствоваться средней точностью для подгонки таких параметров, как скорость набегающего на винт воздушного потока. Высокоточная программа позволяет воспроизводить мельчайшие детали очень

2

сложного аэродинамического процесса, например того, что происходит на концах лопастей несущего винта. Такие высокие стандарты необходимы при проектировании коммерческих летательных аппаратов, однако для разработки недорогого, тихоходного, легко видоизменяемого «Атланта» они вовсе не обязательны. «Средней точности вполне достаточно, чтобы погрешность не превышала, скажем, 2%, — говорит Робертсон. — И это как раз то, что нам было нужно».

Созданная программа позволяла проводить виртуальные испытания вертолета практический любой конструкции с помощью ноутбука. Для этого нужно было ввести несколько дюжин переменных, описывающих создаваемую конструкцию, например геометрические данные несущего винта, его вес, размеры и пределы прочности конструкционных элементов, таких как трубки из углеродного волокна. Программа обрабатывала все эти данные и всего через несколько минут выдавала оптимальный вариант летательного аппарата, а также минимальное количество энергии, необходимое

REED YOUNG



Как работает Atlas. *Стоящий на земле летательный аппарат похож на букву X, на каждом конце которого находится несущий винт (1). Подъемную силу создают обтянутые легкой майларовой пленкой лопасти несущих винтов (2). Райхерт крутит педали велосипеда, и развиваемое им усилие передается через шестерни тросам, которые приводят в движение лопасти винтов (3). Под каждым винтом находится раструб из желтого кевлара и углеволокна, играющий роль катушки (бобины) для тросов (4).*

для его отрыва от земли. *NASA* по достоинству оценило точность и быстродействие работы программы, и теперь она занесена в библиотеку программного обеспечения агентства.

Первое конструкторское решение Райхерта и Робертсона поражало воображение. Длинные консоли и огромные лопасти несущих винтов максимизировали подъемную силу. На видеоролике с триумфальным полетом «Атланта», где его винты совершали всего десять оборотов в минуту, могло показаться, что он слишком медлительный, чтобы быть эффективным. Но подъемная сила, необходимая для отрыва от земли, создавалась не за счет скорости вращения, а благодаря огромным размерам лопастей. В предшествующих неудачных конструкциях, по мнению обоих, заранее ограничивались размеры вертолетов и несущих винтов, чтобы они могли поместиться в гимнастическом зале: конструкторы опасались, что порывы ветра на открытом пространстве будут слишком сильными для управления таким хрупким летательным аппаратом. Было решено, что проводить полеты в закрытом помещении вполне разумно, но для этого гимнастический зал слишком мал. Так огромный старый ангар на севере Торонто, а затем закрытый футбольный стадион в пригороде стали Китти-Хоком *(место, где братья Райт совершали свои первые полеты. — Примеч. пер.)* для мускололетов вертолетного типа.

Еще одними ограничением для «Атланта» были вес и мощность его двигателя, т.е. Райхерта, рост которого превышал 175 см, а вес составлял 82 кг. Максимальный вес пилота для этой конструкции летательного аппарата ограничивался 75 кг, а это значило, что Райхерту предстояло сбросить 7 кг. Кроме того, он должен был вырабатывать достаточное количество энергии, чтобы поднять в воздух самого себя и 55-килограммовый летательный аппарат (в сумме 130 кг) на высоту более 3 м и пробыть в воздухе не менее 60 с. По оценкам, для отрыва необходимо было развить мощность около 1 тыс. Вт (она зависит от общего веса аппарата и размера четырех несущих винтов); в полете эта величина снижается примерно до 600 Вт. По сути, это нечто вроде забега на пределе возможного на короткую дистанцию в 100 м, а затем — менее напряженный бег на 400 м.

Будучи незаурядным спортсменом (он участвовал в соревнованиях за звание лучшего гонщика Канады), Райхерт оказался самым физически подготовленным авиационным инженером во всей Северной Америке. Как часть летательного аппарата он стал для самого себя и Робертсона объектом измерений. «Если вы можете что-то измерить, — говорит Райхерт, — значит у вас есть возможность это усовершенствовать». В течение многомесячных тренировок он и Робертсон использовали для измерения мощности две эргометрические системы. Райхерт облегчил задачу, похудев до 72,5 кг (это на 2,5 кг ниже максимальной отметки), что позволило уменьшить количество энергии, необходимое для отрыва вертолета от земли, без ощутимых потерь в мощности его «двигателя».

Для достижения оптимальных результатов атлеты мирового значения обычно выстраивают свой тренировочный процесс таким образом, чтобы достичь пика физической формы накануне соревнований. Однако из-за многократных задержек по техническим причинам Райхерту пришлось поддерживать наилучшие физические кондиции на протяжении более девяти месяцев. Невероятно, но во время победного полета он фактически превысил необходимые показатели, развив в течение первых 12 с мощность 1,1 тыс. Вт (примерно 1,5 л.с.), а затем снизив ее до 690 Вт. В итоге *Atlas* пробыл в воздухе целых 64 с.

Райхерт и Робертсон со своей командой из восьми студентов Университета Торонто построили *Atlas* летом 2012 г. Они создавали этот фантастический аппарат, чтобы добиться «недостижимой» цели, но не тратили время и деньги на экзотические трюки и новейшие материалы. Всякие раз, когда это было возможно, они шли проторенным путем, используя стандартные детали, чтобы снизить затраты и сосредоточиться на решении более трудных задач. Так, вместо того чтобы создавать специальный суперлегкий велосипед, они модифицировали имеющийся в наличии *Cervélo R5ca*, один из самых легких шоссейных велосипедов. Большой любитель общения со школьниками, Робертсон часто говорит им, что большинство материалов, из которых сделан *Atlas*, можно приобрести в магазинах «Ремесло и хобби». Самым новым материалом, который они использовали, был вектран — жидкокристаллическое полиэфирное волокно, сходное по свойствам с кевларом. Он обладает необычайно высокой прочностью и практически нулевым растяжением — однажды нагруженный, вектран уже больше не растягивается.

Во время испытаний детали хрупкого летательного аппарата постоянно ломались. Причиной этого был аэродинамический феномен — режим вихревого кольца, когда вращающиеся винты погружаются в струю воздуха, которую сами они и создали, что сопровождается резкой потерей подъемной силы

В ангаре на севере Торонто, говорит Райхерт, господствовали сложная математика и сухие алгоритмы, но они открывали простор для интуиции и для проб и ошибок. Одной из первых жертв этого процесса стала система управления «Атланта», замысловатая компоновка рычагов и тросов, соединенная с небольшими *L*-образными крыльями *(canard wing)*, расположенными на концах лопастей. Была надежда, что это позволит предотвратить смещение вертолета за пределы десятиметрового квадрата (что было оговорено в качестве особого условия в правилах приза Сикорского), изменяя угол наклона аппарата относительно поперечной оси.

Однако по причине большого временного интервала между действиями пилота и выполнением его команд хитроумная система управления вертолета просто не работала. «С механической точки зрения она была превосходной, — говорит Робертсон, — но сноса не предотвращала». Поэтому ее пришлось заменить на более простую, соединив нижнюю часть велосипеда с осями четырех несущих винтов несколькими тросами. Теперь пилот мог управлять сносом, наклоняясь вперед, чтобы аппарат тоже сместился вперед, наклоняясь влево, чтобы он пошел влево, и т.д. «Я до сих пор не могу поверить, что это работает», — говорит Райхерт; на видеоролике видно, как сильно он наклоняется вправо на протяжении почти всего победного полета. Эти изменения не только сделали управление «Атлантом» проще, но и снизили его суммарный вес на 10%. Помимо этого на целых 20% уменьшилось количество необходимой для полета энергии.

Во время испытаний детали хрупкого летательного аппарата постоянно ломались; две особо впечатляющие аварии произошли буквально за несколько недель до успешного полета. Причиной обеих послужил аэродинамический феномен — режим вихревого кольца, когда вращающиеся винты погружаются в струю воздуха, которую сами они и создали, что сопровождается резкой потерей подъемной силы. Конструкторы внимательно рассмотрели лопасти винтов и обнаружили, что их передние кромки недостаточно гладкие: на майларовой пленке, натянутой в спешке из-за стремления поскорее закончить работу, имелись неровные участки, что приводило к повышению сопротивления воздуха. Пленку тщательно разгладили, а кроме того укоротили углеволоконные стойки (распорки) и усилили тросовую систему раскосов на консолях с несущими винтами.

Эти меры возымели действие. Через восемь недель после второй аварии команда завоевала приз Сикорского. Видеоролик полета, на котором Райхерт управляет замысловатой конструкцией с длинными балками и огромными винтами, собрал на *YouTube* более 3,1 млн просмотров. Цель соревнования состояла в том, чтобы воодушевить новое поколение конструкторов на взятие «преодолимых» барьеров и с помощью *YouTube* привлечь внимание общественности к успешному полету «Атланта».

После победного полета Райхерта каждый участник команды получил возможность сесть «за штурвал» «Атланта» и подняться над землей хотя бы на несколько сантиметров. «До этого дня, — говорит Робертсон, — больше людей прогулялись по поверхности Луны, чем совершили полет на мускулолете вертолетного типа. Мы это число удвоили».

Говоря о причинах успеха, Райхерт выходит за рамки техники. Он рассуждает о решимости — своей и Робертсона — совершить невозможное или хотя бы о готовности попытаться сделать это. «Нужно ставить перед собой недостижимые на первый взгляд цели, — говорит он. — Именно это мотивирует людей».

«Есть множество таких задач, решением которых стоило бы заняться, но недостает мотивации», — сетует Робертсон. Одна из главных — разработка топливосберегающих технологий. Он упоминает о замечательной идее правительства увеличить экономичность всего автомобильного парка страны, снизив к 2025 г. расход топлива до одного галлона на 87,2 км, что на 88% превосходит существующие технические нормы, но утверждает, что проект недостаточно амбициозен. «Нужно говорить о тысячепроцентном увеличении экономичности, — призывает Робертсон. — Тогда взгляд на проблему коренным образом изменится, и это послужит скорейшему наступлению эры сверхэкономичного транспорта».

«Браться за невыполнимое совсем не просто, — говорит Райхерт. — Но это приносит больше удовлетворения, сильнее мотивирует и в конце концов дает прекрасные плоды».

Недостаточная мотивация послужила причиной неудач наших героев, пытавшихся побить мировой рекорд скорости 133 км в час в велосипедных гонках в Батл-Маунтин, Невада; им не хватило 7,2 км в час. На следующий год они вернутся в воздух, чтобы участвовать уже в других состязаниях летательных аппаратов на мускульной тяге. Речь идет о соревнованиях на приз Кремера, учрежденных в 1959 г. Сумму в 50 тыс. фунтов ($95 тыс.) получит тот, кому удастся пролететь на мускулолете 40 км между контрольными точками менее чем за один час. Райхерт и Робертсон уже обговаривают условия полета — что допускается, а что нет, и выражают уверенность, что им удастся одержать еще одну невероятную победу и сорвать очередной куш.

Единственный летательный аппарат на мускульной тяге, который достиг этой скорости, вынужден был приземлиться примерно через две минуты, не говоря уже о преодолении марафонской дистанции. Может показаться, что выполнить условия состязания нереально. Но, возможно, именно это хотят услышать Райхерт и Робертсон. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Progress in Human Powered Aircraft Research and Achievement. Proceedings of the Human-Powered Aircraft Group Half Day Conference, Royal Aeronautical Society, January 21, 1993.
- On the Possibility of Human-Powered Vertical Flight. Antonio Filippone in Journal of the American Helicopter Society, Vol. 52, No. 4, pages 371–381; October 1, 2007.
- Видеоролик о триумфальном полете «Атланта» см. по адресу: ScientificAmerican.com/nov2014/atlas-helicopter

Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Открыт новый класс химических аналогов нуклеиновых кислот – потенциальных «лекарств для генов», способных проникать сквозь мембраны клеток и устойчивых к разрушению клеточными ферментами

По мнению большинства физиков, неуловимые частицы темной материи должны быть весьма массивными, но созданный в Новосибирске прототип детектора на основе жидкого аргона «настроен» на поиск частиц, сравнимых по «весу» с атомом кислорода

Благодаря использованию гиперполяризованного пропана в качестве контрастного газового агента станет возможной МРТ-диагностика болезней легких

Как выяснили новосибирские ученые, Ямальский кратер образовался в результате мощного выброса газогидратного метана в месте пересечения тектонических разломов

ПОДПИСКА на 2015 г.
www.sciencefirsthand.ru

DNA

Конвергенция

СКВОЗЬ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

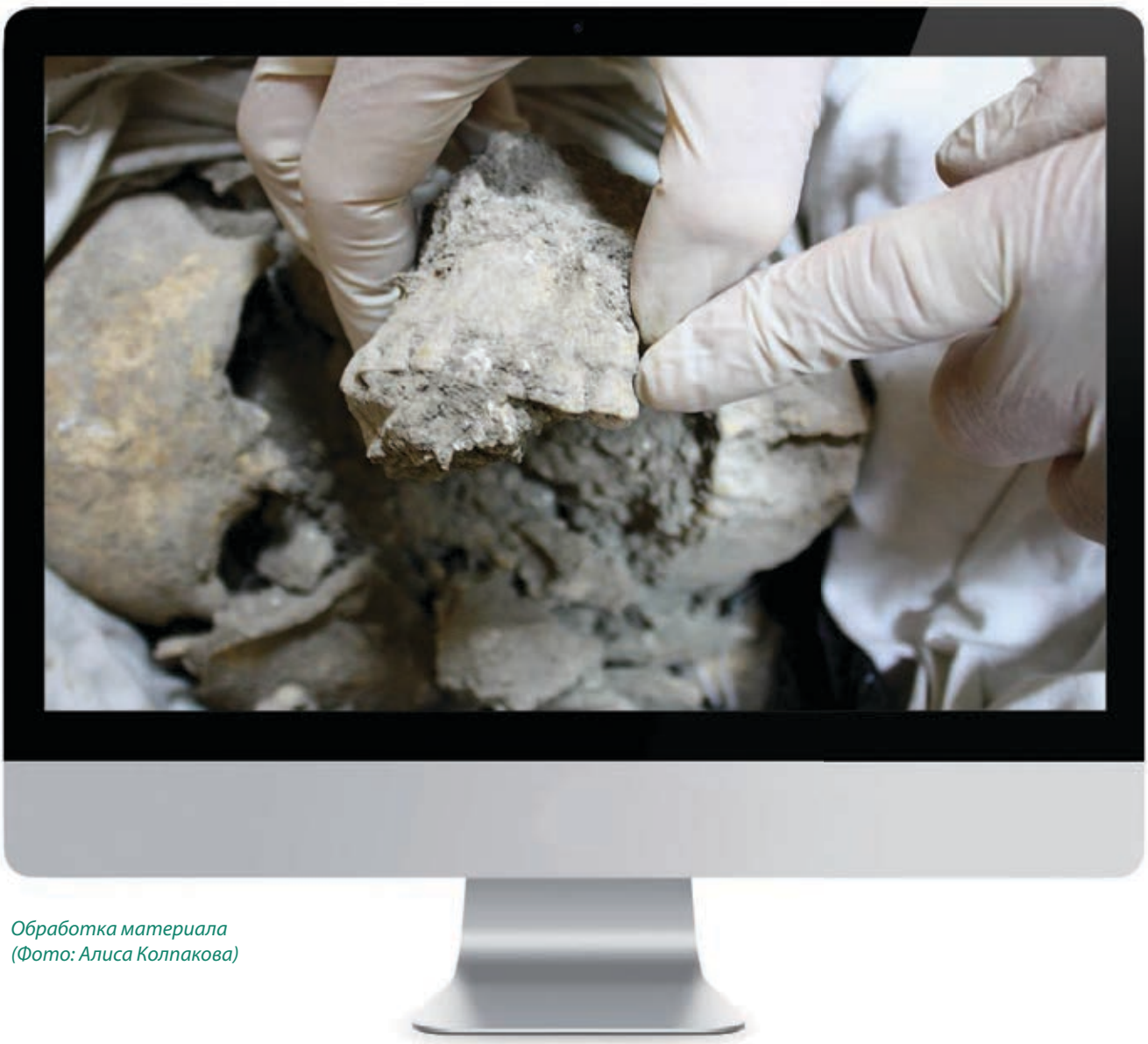
Мы уже привыкли, что конвергенция казалось бы несочетаемых наук может дать неожиданные результаты, а все самое интересное происходит как раз на стыке совершенно разных дисциплин. Более того, такие результаты порой заставляют пересматривать давно устоявшиеся научные представления

Наш собеседник **Артем Валерьевич Недолужко**, научный сотрудник лаборатории геномных и постгеномных исследований Курчатовского НБИКС-центра, рассказывает о том, как можно использовать современные геномные и компьютерные технологии для расшифровки древней ДНК и тем самым еще на шаг приблизиться к пониманию того, кто мы и откуда.

Три кита

— Артем Валерьевич, известно, что научные прорывы случаются на стыке наук. Вы сочетаете антропологию с современными методами анализа. Расскажите, что из этого получается?

— Идеи подобных исследований не новы для мировой науки. Но в Курчатовском институте это направление начало развиваться, когда М.В. Ковальчуком был создан центр конвергентных НБИК-наук и технологий и в его рамках организована лаборатория, где стали заниматься геномикой на современном уровне. Появились методики, которые позволяли расшифровывать геномы. Естественно, первыми геномами, которые мы пытались расшифровывать, были геномы современных организмов — в первую очередь человека. Мы хотели понять, как протекают те или иные заболевания — и, главное, что



Обработка материала (Фото: Алиса Колпакова)

становится их причиной. Однако интересы продолжали расширяться, и в какой-то момент мы пришли к теме древней ДНК. Мы познакомились с рядом специалистов — палеонтологами, археологами.

В первую очередь мы познакомились с Алексеем Николаевичем Тихоновым из Зоологического института РАН, и с ним мы сегодня ведем проект, посвященный животным плейстоцена — прежде всего мамонтам. Затем мы начали сотрудничать с Алексеем Дмитриевичем Резепкиным (Институт истории материальной культуры РАН), который занимается эпохой ранней бронзы на Северном Кавказе. Так и началась наша конвергенция — археологии и палеонтологии с геномикой. Разумеется, такие исследования немыслимы без математического аппарата, и мы, к счастью, получили поддержку со стороны биоинформатиков, которых готовит Курчатовский НБИК-факультет. Так что сегодня у нас уже формируется группа молодых специалистов, могущих обсчитывать те данные, которые мы получаем.

То, что мы получаем из останков человека, животных, не имеет никакой ценности без правильной биоинформатической обработки данных. По сути, работы, которые проводятся, можно подразделить на три стадии. Первая — собственно сфера деятельности археологов и палеонтологов, которые добывают материал. Вторая — работа молекулярных биологов, к которым я себя отношу: они добывают из этого материала ДНК и секвенируют ее, т.е. определяют последовательности ДНК, которые сохранились в этих останках. И третий, наверное, самый важный участок — это биоинформатический анализ. Это три кита, на которых зиждется конвергенция трех смежных наук.

В настоящий момент мы занимаемся ранним бронзовым веком на Северном Кавказе и пытаемся понять, откуда произошли жители Кавказа и как заселялась территория современной Евразии. Мы говорим о потомках охотников-собирателей времен палеолита и ближневосточных «фермеров», которые в неолите начали заселять Европу и принесли туда сельское хозяйство

— И что эти три кита реально дали нам и вам?

— Сейчас самый главный результат важен не столько для общественности, интересующейся наукой, сколько для нас. Важно то, что мы научились это делать. Это действительно большой шаг вперед — не только для нашей лаборатории, но и для отечественной науки. В России есть несколько групп, которые занимаются сходными тематиками, и это тяжелый и кропотливый труд. В настоящий момент мы исследуем ранний бронзовый век на Северном Кавказе и пытаемся понять, откуда произошли жители Кавказа и как заселялась территория современной Евразии. Дело в том, что если немного углубиться в историю, то население современной Европы, как ни странно, генетически произошло из трех популяций. Речь не идет о современных миграциях, когда население Европы превращается буквально в винегрет. Мы говорим о настоящих европейцах, и они — потомки охотников-собирателей времен палеолита и ближневосточных «фермеров», которые в неолите начали заселять Европу и принесли туда сельское хозяйство.

Используя наши методы, мы попытались понять, откуда появились жители Кавказа в эпоху бронзы. Существует несколько версий, которые говорят о том, что в те времена на территории Кавказа господствовала майкопская культура, прошедшая множество различных стадий, но имевшая изначально ближневосточное происхождение, а с Европой генетически вообще не связанная. Но один из исследователей, с которым мы сотрудничаем, предположил, что европейцы также влияли на эту культуру. Более того, он выделил отдельную новосвободненскую археологическую культуру, которая, как предполагается, пришла из Европы, и, возможно, население Кавказа стало формироваться под влиянием не только ближневосточного, но и европейского компонентов.

Естественно, эту теорию многие исследователи критикуют. Мы это поняли сразу после публикации нашей статьи. Дело в том, что мы исследовали мутации в митохондриальной ДНК тех древних людей, которые жили на Кавказе и которые, как предполагает А.Д. Резепкин, имеют европейское происхождение. Мы исследовали одного человека из древнего новосвободненского поселения и выяснили, что он имел митохондриальную гаплогруппу, которая характерна для европейских неолитических популяций.

Когда статья была опубликована, все археологи бросились говорить о том, что нельзя судить по одному эксперименту. Мы это прекрасно осознавали и потому продолжили работу. В итоге у людей из этого поселения всплыла еще одна европейская гаплогруппа. При этом мы сравнивали данные по новосвободненоской культуре с представителями «настоящей» майкопской культуры. У нас сейчас есть шесть человек, у которых мы

определили митохондриальную гаплогруппу, но отделить их по этим данным вряд ли возможно по той простой причине, что люди имеют свойство скрещиваться между собой. И даже если мы будем говорить о том, что культуры действительно отличаются, понять это можно именно по каким-то археологическим артефактам — по керамике, оружию и т.д. Наши методы лишь подтверждают, что обнаружены европейские гаплогруппы, но что и как там происходило, нам сложно сказать. У нас есть точные данные, что гаплогруппы, которые присутствуют на территории Европы, присутствуют в том числе и на территории Кавказа в эпоху ранней бронзы.

У нас также ведутся и другие исследования, связанные с животными плейстоцена (в частности, мамонтом) и с так называемыми демографическими волнами популяций мамонтов, населявших Евразию. В настоящее время разработаны специальные математические методы, которые даже по одному геному позволяют рассказать, как менялась численность животных миллионы лет назад, и привязать это к геологическим и климатическим катаклизмам. Это достаточно сложная процедура, но уже опубликовано несколько научных статей в высокорейтинговых журналах, где по данным одного генома рассказывается о том, как менялась демографическая структура у каких-то видов. Это крайне интересные работы, и мы пытаемся то же самое сделать на примере мамонта.

У нас также ведутся исследования, связанные с животными плейстоцена и с так называемыми демографическими волнами популяций мамонтов, населявших Евразию. В настоящее время разработаны специальные математические методы, которые даже по одному геному позволяют рассказать, как менялась численность животных миллионы лет назад, и привязать это к геологическим и климатическим катаклизмам

Сотрудничество и конкуренция

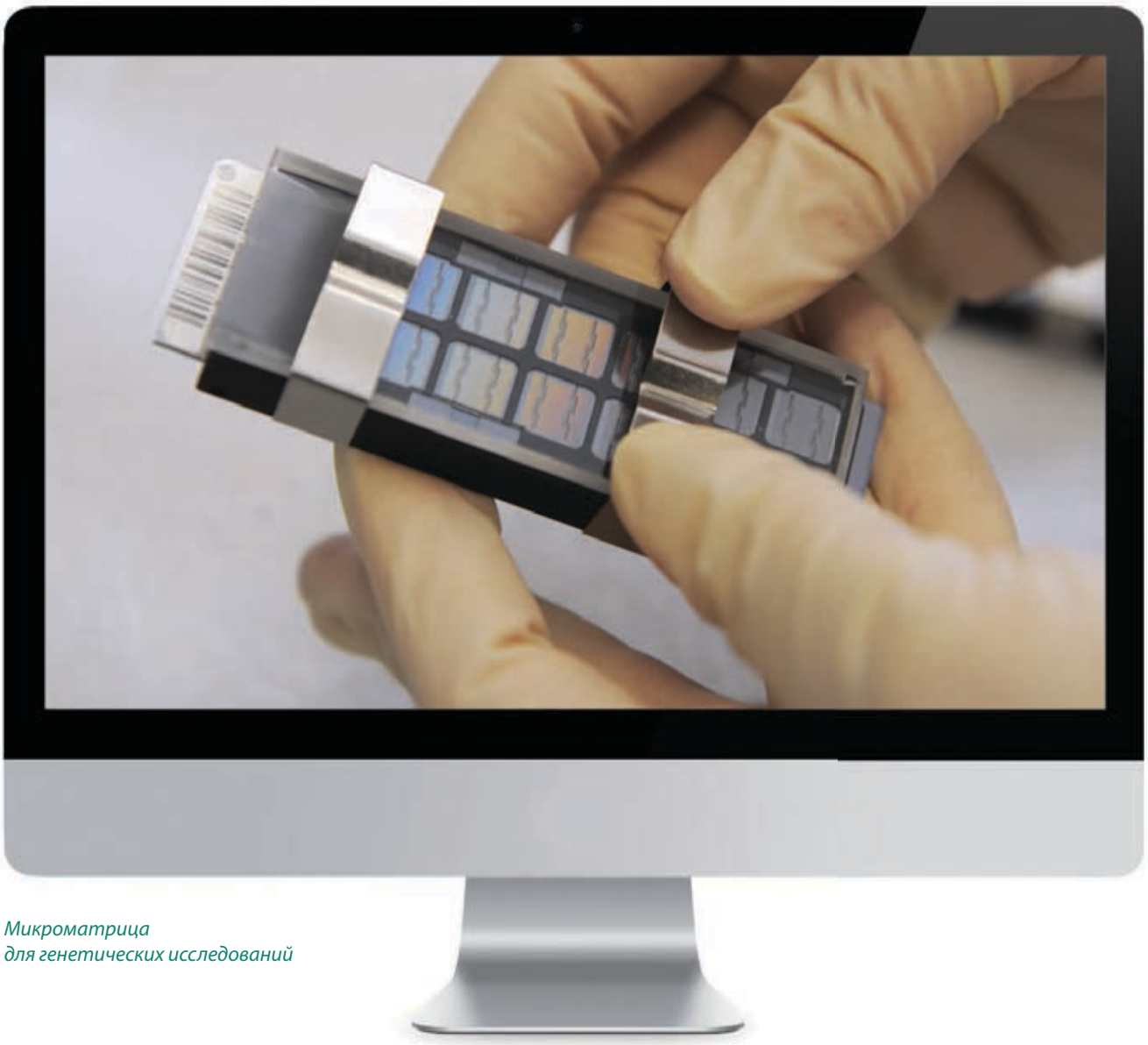
— Вы говорили, что другие группы занимаются аналогичной работой. Вы с ними сотрудничаете или они для вас конкуренты? И что это за группы?

— На самом деле, мы всегда открыты для паритетного сотрудничества. Естественно, без кооперации в такой области очень сложно, но в первую очередь мы призываем к сотрудничеству представителей археологической науки, потому что очень важно, чтобы археологический и палеонтологический материал, которым Россия богата, подобно тому как она богата природными ископаемыми, не уходил за рубеж. Если вы откроете последние работы в *Science* или *Nature*, то обнаружите, что многие научные статьи, посвященные древней ДНК, сделаны на наших, российских образцах, но не отечественными учеными, которые в лучшем случае выступают лишь соавторами. К сожалению, весь их вклад заключается лишь в том, что они предоставляют материалы. На наш взгляд, это неправильно, и мы стремимся, чтобы все этапы анализа древней ДНК — от получения археологического материала до математической обработки — проходили на территории России.

— Некоторые археологи с непониманием относятся к вашим методам и выводам, но в то же время вы приглашаете их к сотрудничеству. Как они относятся к этому? Они готовы сотрудничать, чтобы понять вас? Или просто отмахиваются?

— Недавно в Казани проходил археологический съезд, на котором было отдельное обсуждение на тему использования естественных наук, в том числе геномики, для исследований в области археологии. И, естественно, большинство археологов понимают необходимость подобных изысканий. Но здесь есть один момент. Дело в том, что геномика — только один из инструментов, и нужно отдавать себе отчет, что такие инструменты — всего лишь отдельные кирпичики, которые могут подтверждать или опровергать какую-то теорию. Основную роль в подобных исследованиях играют, безусловно, артефакты, связанные с культурой. Это материальные вещи — какие-то ритуальные элементы, предметы быта, которые отличают одну культуру от другой. Если нам известна гаплогруппа, то уже задача археологов — интерпретировать те генетические данные, которые получились. Отмечу, что митохондрии — это лишь небольшая часть того, что прячется в человеческой клетке. Самая главная молекула (ядерная ДНК) содержится в клеточном ядре.

Сейчас сделано много этнических карт современных людей на основе геномики, и если геном этого древнего человека окажется европейским, то здесь уже не отмахнешься. Но я хочу подчеркнуть, что археологи в большинстве своем прислушиваются к палеогенетикам и всячески готовы сотрудничать.



Микроматрица для генетических исследований

— Чем различаются эти исследования на Западе и в России?

— Российские исследования и российская наука в целом более забюрократизированы. Других отличий нет. Мы используем примерно одинаковую базу, при этом привносим какие-то свои особенности — прежде всего это относится к математическим методам. У нас же сидят не роботы, а нормальные живые ученые, в том числе молодые, которые порождают какие-то новые подходы, используют новые методики, которые могли бы пригодиться в таком анализе. Поэтому, если говорить о научной составляющей, то она на Западе и в России очень похожа.

— Можете привести пример таких особенностей?

— Пожалуй, это больше вопрос не ко мне, а к биоинформатикам. Они используют какие-то параметры, которые раньше не применялись при прогоне данных древней ДНК. Они комбинируют различные программные пакеты, пишут свои программы, которые облегчают и ускоряют работу.

— Вы как-нибудь обмениваетесь этой информацией с западными коллегами? Или вы просто взяли то, что они делали, стали доводить до ума, а им — ни слова?

— Когда мы пишем научную статью, в ней описываются те методы, которые были нами применены. И, по сути, это и есть обмен. Конечно, мы не звоним Сванте Паабо, например, и не говорим: «Сванте, привет! Мы ваш метод немного обновили...» Такого, конечно, не происходит.

Недавно у нас вышла в отечественном журнале статья, которая переводится на английский язык и цитируется во всех международных системах. Этот материал уже вызвал целую дискуссию и не остался незамеченным. Мы тоже участвовали в этой дискуссии и показали, как мы это сделали. И это здорово: значит, статью читают,

За работой в лаборатории геномных и постгеномных исследований Курчатовского НБИКС-центра

и, соответственно, идет обмен нашими и западными подходами. А если люди читают наши публикации, они смотрят, как мы это делаем и, может быть, что-то перенимают и критикуют — не без этого. Ведь научная деятельность подразумевает как положительную, так и отрицательную критику. И в этом нет ничего плохого.

Течет река Лета

— Как вообще происходит анализ древней ДНК?

— Напомню, что в геноме человека записаны все наши белки, все физиологические процессы. Геном человека — это 3 млрд букв, или нуклеотидов, как говорят ученые (А, Т, Г и Ц). Пока мы живы, ДНК достаточно стабильна, но после нашей смерти она начинает разрушаться.

Если мы добываем генетический материал из какой-нибудь кости (либо из шерсти, из волосяных луковиц или других останков) то древняя ДНК представлена фрагментами в 100–150 букв, «заботливо порубленными» природой. Причем поскольку ДНК — это, по сути, химическое вещество, она вступает в реакцию с окружающей средой после смерти организма, она модифицируется — и это мы должны учитывать. Более того, мы и так окружены бактериями со всех сторон, но когда человек или животное умирает, его сразу начинают разрушать различные микроорганизмы. И мы берем из земли образец, где масса ДНК бактерий, которые только «пробегали мимо», и начинаем добывать ДНК из этого образца. Всю эту побитую временем древнюю ДНК мы подвергаем пробоподготовке с использованием специальных ферментов, которые предпочитают «работать» со свежей бактериальной ДНК, обходя стороной древнюю ДНК.

Мы готовим образец и отправляем его на специальный прибор — секвенатор, который определяет последовательность ДНК. Мы начинаем анализировать образец, видим в нем засилье бактериальной ДНК, а древней ДНК почти нет. И это большая проблема. Еще нам очень

мешает так называемая контаминация — т.е. загрязнение древней ДНК современным генетическим материалом. И были такие прецеденты, когда исследователи отзывали публикации, вдруг выяснив, что в пробирке плавает вовсе не неандерталец, а кто-то другой, например незадачливый естествоиспытатель. С таким материалом приходится работать, и такие работы должны проводиться по всем правилам в чистой комнате — это идеально чистые помещения, в которых не летают никакие современные бактерии, где человек облачается в костюм, напоминающий скафандр. Такие чистые помещения достаточно дороги, если покупать их на Западе, и мы пытаемся здесь сами создать их. Но самое элементарное правило в этих исследованиях — работать в перчатках. Это в любом случае не повредит, ведь древние люди часто болели и умирали от инфекционных заболеваний.

Кстати, о древних заболеваниях. В останках человека удается найти не только его ДНК, но и ДНК каких-то архаических бактерий, которые вызывали инфекционные болезни. Мы провели анализ останков людей, живших в бронзовом веке, и в двух образцах обнаружили высокое содержание последовательностей ДНК, которые характерны для бактерии *Brucella abortus*, — это микроорганизм, вызывающий бруцеллез крупного рогатого скота. Он поражает не только парнокопытных, но и человека, который употребляет молоко и мясо. Такие находки мы связываем с тем, что во время неолита началось приручение крупного рогатого скота, начался бум сельского хозяйства: люди поняли, что гораздо проще разводить коров, чем охотиться на них. И в это время человеческая популяция начала увеличиваться, причем в геометрической прогрессии. Соответственно, и распространение таких заболеваний ускорилось. В целом бруцеллез — не смертельная болезнь, особенно при современном развитии медицины, но в тех условиях, тем более в совокупности с какими-то другими инфекциями, бруцеллез мог стать причиной смерти.

После выделения ДНК пробоподготовка во многом напоминает работу с современными образцами. После всех фильтраций остается маленький кусочек исходной информации, который мы используем, чтобы понять, был ли это кроманьонец или неандерталец и был ли это вообще человек или мамонт и т.д. Потом полученные данные мы предоставляем археологам или палеобиологам, которые должны проанализировать эту информацию. Она позволяет нам проникнуть вглубь истории и понять, куда и откуда течет река Лета. ■

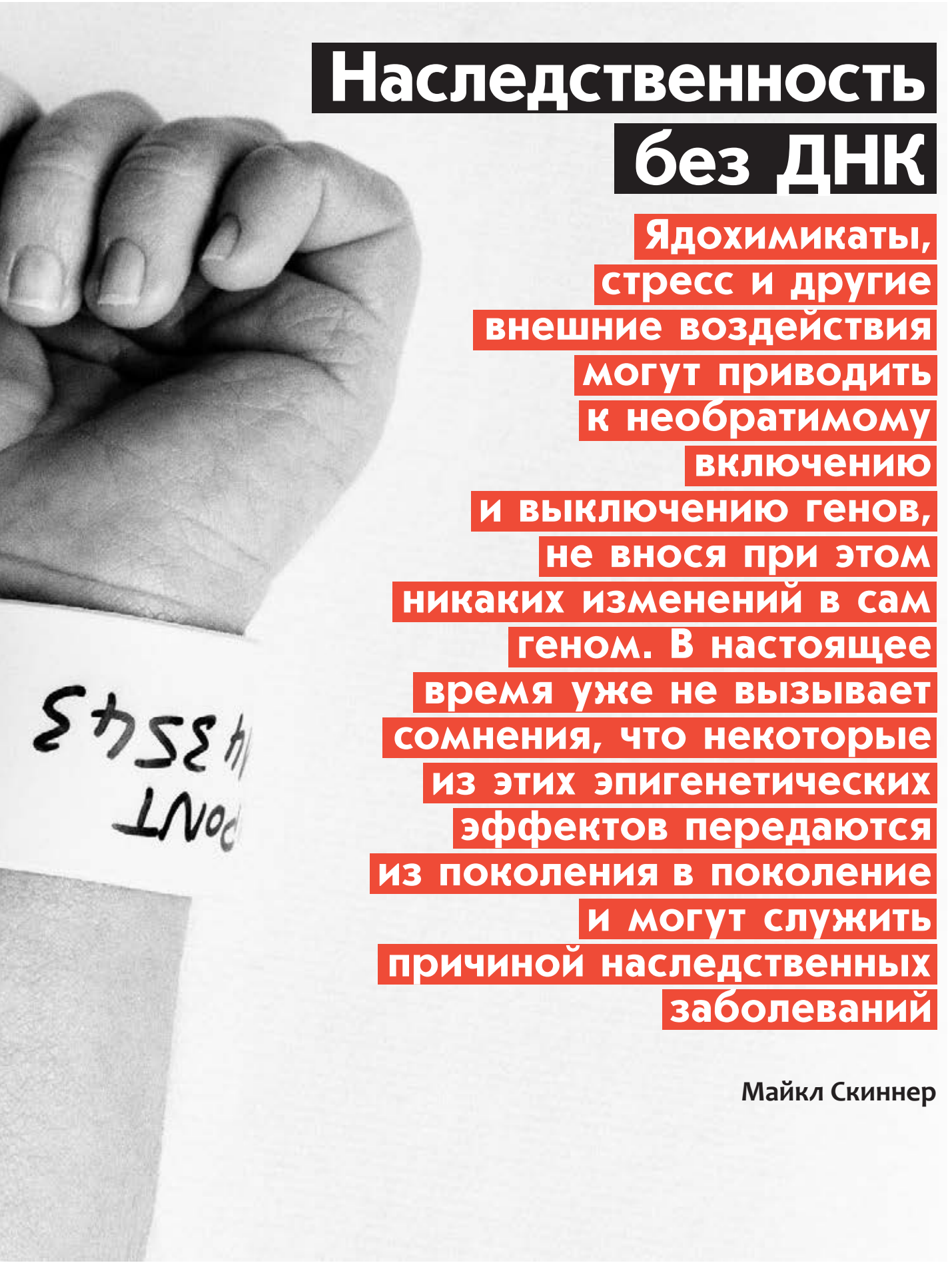
Подготовил Виктор Фридман

Справка

Артем Валерьевич Недолужко

Научный сотрудник лаборатории геномных и постгеномных исследований Курчатовского НБИКС-центра, кандидат биологических наук

✓ Родился во Владивостоке.
✓ В 2005 г. окончил биологический факультет Дальневосточного федерального университета (Владивосток).
✓ В 2004 г. по программе «Кадры для биоинженерии» перебрался в Москву, где окончил аспирантуру в центре «Биоинженерия» РАН.
✓ В 2008 г. стал кандидатом биологических наук и научным сотрудником.
✓ В 2009 г. начал работать в лаборатории геномики Курчатовского НБИКС-центра.
✓ Победитель международного конкурса научных работ молодых ученых в области нанотехнологий (в рамках Международного форума по нанотехнологиям *Rusnanotech-2009*); обладатель стипендии Президента РФ (2012–2014); победитель программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (УМНИК-2012); победитель ежегодного конкурса на соискание стипендии им. И.В. Курчатова (2014–2015); победитель (в составе коллектива авторов) ежегодного конкурса на соискание премии им. И.В. Курчатова (2014).
✓ Сферы научных интересов: древняя ДНК, палеогеномика, социально значимые заболевания.
✓ Увлечения: журналистика, история России, туризм, фотография.



Наследственность без ДНК

Ядохимикаты, стресс и другие внешние воздействия могут приводить к необратимому включению и выключению генов, не внося при этом никаких изменений в сам геном. В настоящее время уже не вызывает сомнения, что некоторые из этих эпигенетических эффектов передаются из поколения в поколение и могут служить причиной наследственных заболеваний

Майкл Скиннер

ОБ АВТОРЕ

Майкл Скиннер (Michael K. Skinner) — профессор биологии в Университете штата Вашингтон, опубликовал более 250 статей в рецензируемых журналах, в том числе десятки исследований по эпигенетической наследственности.

Когда на свет появились мои дети (а случилось это около 30 лет назад), я был уверен, что примерно половину своей ДНК они получили от меня. В то время передача ДНК эмбриону от сперматозоида и яйцеклетки рассматривалась как единственный способ приобретения наследственной информации новыми поколениями при половом размножении — по крайней мере у человека и других млекопитающих.

Разумеется, я понимал, что ДНК — это еще не все. Да, в ДНК наших детей закодированы всевозможные признаки в виде нуклеотидных последовательностей в геноме, которые определяют аминокислотный состав, структуру и функции белков — макромолекул, выполняющих в живой клетке самые разные функции. Однако на работу генов влияет множество факторов: характер питания, стресс, болезни и многое другое. Чтобы объяснить, почему однояйцевые близнецы, несмотря на идентичность их геномов, могут страдать несходными заболеваниями, следует обратиться к условиям, в которых они росли, жизненным обстоятельствам и т.д.

Но в те времена мы даже не догадывались, что биологическое наследие, получаемое от нас детьми, включает в себя нечто большее, чем просто нуклеотидные последовательности родительских генов. Они получают от нас и так называемую эпигенетическую информацию, влияние которой распространяется не только на первое поколение, но и на внуков и даже правнуков. Подобно ДНК, эпигенетическая информация хранится в хромосомах. Однако она четко обособлена от самой ДНК, изменяется в ответ на сигналы из окружающей среды и участвует в регуляции клеточных функций. Эта информация может принимать разные формы, в частности она существует в виде небольших молекул, которые присоединяются к ДНК и хромосомным белкам.

Результаты исследований на лабораторных животных (в основном на крысах и мышах) позволяют утверждать, что целый ряд загрязняющих веществ, в том числе сельскохозяйственные ядохимикаты, частички реактивного топлива и даже широко используемые пластмассы, могут вызывать эпигенетические изменения, провоцирующие болезни и создающие репродуктивные проблемы, — и все это без каких-либо изменений в геноме. Еще более необычен тот факт, что эпигенетические мутации в клетках, дающих начало гаметам (сперматозоидам и яйцеклеткам), имеют тенденцию фиксироваться и в дальнейшем передаваться новым поколениям, неся с собой опасность возникновения различных заболеваний.

Эпигенетика развивается очень быстро, и теперь мы можем объяснить результаты ряда долгосрочных наблюдений за наследованием болезней у людей. Уже сейчас они указывают на то, что эпимутации могут передаваться из поколения в поколение не только у лабораторных животных, но и у нас с вами. Стремительный рост числа пациентов, страдающих ожирением, диабетом и другими быстро распространяющимися во всем мире заболеваниями, особенно характерными для послевоенного и более поздних поколений, может быть частично обусловлен воздействием на их родителей (и даже бабушек и дедушек) таких вредных веществ, как ДДТ и диоксин.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- На функционирование генов могут влиять эпигенетические факторы, например присоединение к ДНК и хромосомным белкам специфических групп, которые в совокупности создают новый информационный пласт, не зависящий от самой ДНК.
- Загрязняющие вещества, стресс, неправильное питание и другие факторы могут вызывать устойчивые изменения эпигенетического профиля и таким образом изменять поведение клеток и тканей. Вопреки традиционным представлениям о механизмах наследственности эти приобретенные изменения также могут передаваться потомству.
- Весьма вероятно, что состояние нашего собственного здоровья и здоровья наших детей во многом определяется тем, что происходило с нашими прабабушками во время беременности. Эпигенетическое наследование может играть немаловажную роль в развитии таких распространенных заболеваний, как ожирение, диабет и рак, а кроме того выступать в качестве одного из главных факторов эволюции.

PRECEDING PAGES: CHRIS FRAZER SMITH Gallery Stock

«Темная материя» генома

Воздействие эпигенетических факторов на функционирование клеток было признано наукой довольно давно, но истинные масштабы их влияния стали проясняться лишь в последнее время. Несколько десятилетий назад биологи стали замечать, что во многих местах к молекулам ДНК млекопитающих присоединена метильная группа (CH_3). У человека этот эпигенетический маркер часто присутствует там, где в ДНК цитозин (*C*) предшествует гуанину (*G*), — в хромосомах человека примерно 28 млн таких участков. Сначала ученые полагали, что основная функция метилирования ДНК заключается в выключении транспозонов — мобильных участков ДНК, способных перемещаться из одних областей генома в другие. Теперь мы знаем, что метилирование участвует в регуляции активности нормальных генов и что нарушение этого механизма нередко приводит к развитию раковых заболеваний и другим патологиям.

Все в новых и новых поколениях взрослеющие самцы крыс обнаруживали признаки той же болезни, что и у их отдаленных предков, и все это было результатом мимолетного контакта с химикатом, широко используемым в сельском хозяйстве

В 1990-х гг. исследователи выявили уже множество эпигенетических маркеров и отчасти разобрались в их функциях. Выяснилось, например, что метильная, ацетильная и некоторые другие группы могут присоединяться к компонентам хромосом — белкам, называемым гистонами. В хромосомах млекопитающих молекулы ДНК намотаны на гистоновые комплексы (коры), как нитки на катушку. Регулируя плотность намотки и расстояние между соседними гистоновыми «катушками», эпигенетические маркеры могут легко включать и выключать целые серии последовательно расположенных генов. Объясняется это тем, что увеличение плотности намотки делает соответствующие участки ДНК недоступными для белков, активирующих гены.

Затем в поле зрения ученых попало еще несколько факторов эпигенетической регуляции. Именно такую функцию выполняют изменение третичной структуры ДНК и хромосом, а также особые РНК, называемые некодирующими. По структуре они аналогичны давно известной матричной РНК, на которой в рибосомах синтезируются белки. Однако в отличие от нее на некодирующих РНК ничего не синтезируется, зато они могут взаимодействовать с эпигенетическими маркерами, находящимися на ДНК и гистонах.

Все перечисленные эпигенетические механизмы влияют на активность генов весьма сложным образом и совершенно независимо от информации, заключенной в ДНК. Процесс взаимодействия между геномом и эпигеномом крайне изменчив и до сих пор во многом остается загадочным. Однако теперь мы можем однозначно утверждать, что при делении клеток эпигенетические метки в их хромосомах всякий раз переходят в дочерние клетки. Следовательно, эпигенетические события, произошедшие на ранних этапах жизни организма, могут влиять на функционирование его клеток и в дальнейшем.

Еще мы знаем, что клетки постоянно контролируют стабильность не только генетической информации в хромосомной ДНК, они также периодически «перезаписывают» структуру эпигенетических меток, и это происходит в течение всей жизни организма. Изменения в эпигеноме определяют, например, специализацию клеток: станут ли некоторые из них в будущем клетками кожи или, скажем, серого вещества мозга. Малейшие изменения эпигенетической информации влияют на активацию тех или иных генов в клетках, находящихся в различных частях организма. Вредные химические вещества, недостаточное или несбалансированное питание и другие стрессовые воздействия могут спровоцировать присоединение или удаление эпигенетических маркеров, что, в свою очередь, повлияет на активность генов, а значит, и на работу тканей и органов.

Сегодня уже никто не сомневается, что эпигенетические факторы играют ключевую роль в процессах развития и старения организма и даже могут стать причиной возникновения рака. Тем не менее продолжаются споры о том, могут ли эпимутации передаваться через несколько поколений у таких организмов, как млекопитающие. Число экспериментов в этой области стремительно растет, и их результаты, полученные как сотрудниками моей лаборатории, так и многими другими исследователями, убеждают меня, что наследование эпимутаций возможно.

Наследственность и случайность

Своему первому знакомству с наследованием эпимутаций я обязан стечению обстоятельств и, пожалуй, интуиции. Больше десятилетия назад мы с моей коллегой Андреа Капп (Andrea Cupp) и еще несколькими сотрудниками Университета штата Вашингтон изучали воздействие двух химических веществ, широко применяемых в сельском хозяйстве (пестицида метоксихлора и фунгицида винклозолина), на репродуктивную систему млекопитающих. Как и многие другие сельскохозяйственные ядохимикаты, эти вещества негативно влияют

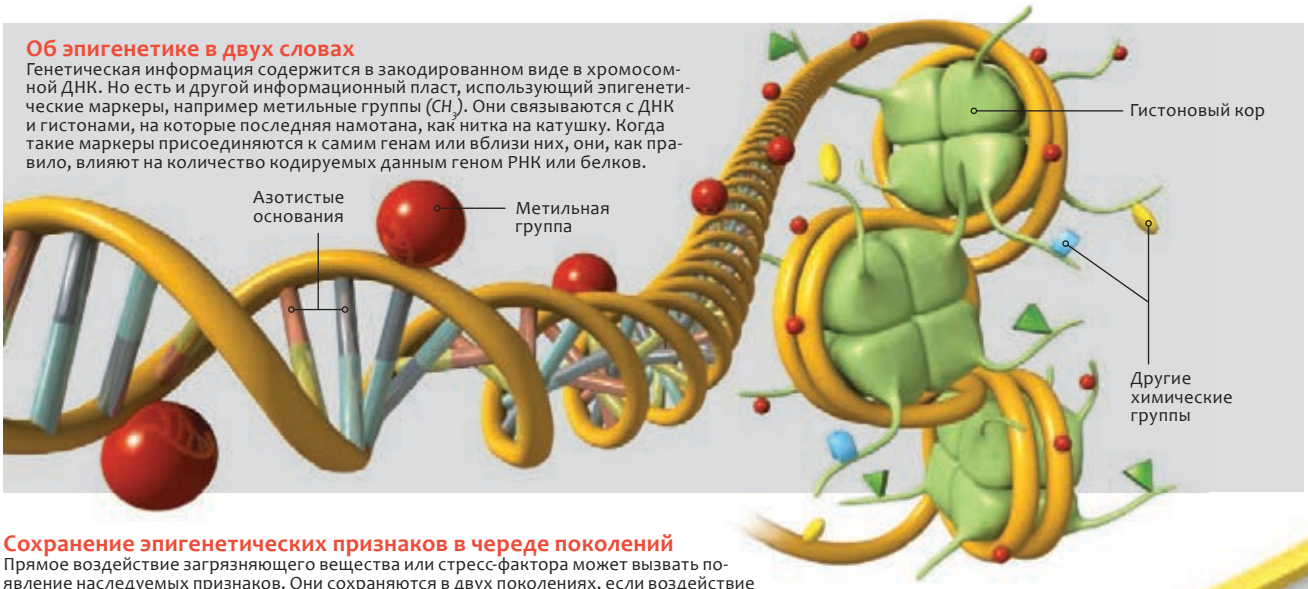
Новые открытия

НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ БЕЗ ДНК

Воздействие внешних факторов на животных и растения (например, контакт с некоторыми загрязняющими веществами или стресс различной природы) может повлиять на состояние здоровья потомства без каких-либо изменений в ДНК. Эффект от подобных воздействий может сохраняться на протяжении ряда поколений вследствие специфических процессов, протекающих в репродуктивных клетках (сперматозоидах, яйцеклетках и их клетках-предшественниках). Так называемое эпигенетическое наследование может затрагивать и более далеких потомков через изменение расположения специфических маркеров, связанных с ДНК.

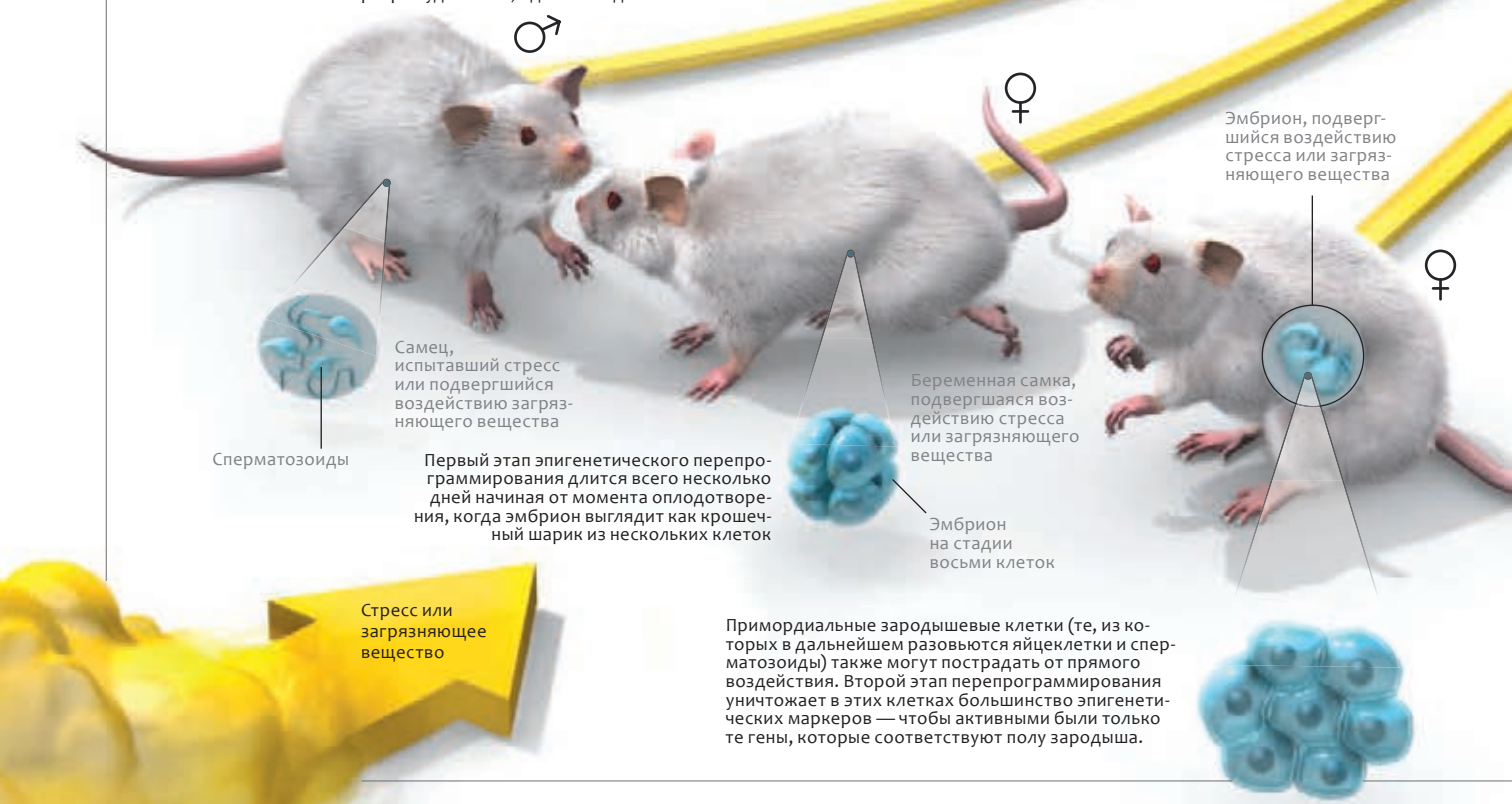
Об эпигенетике в двух словах

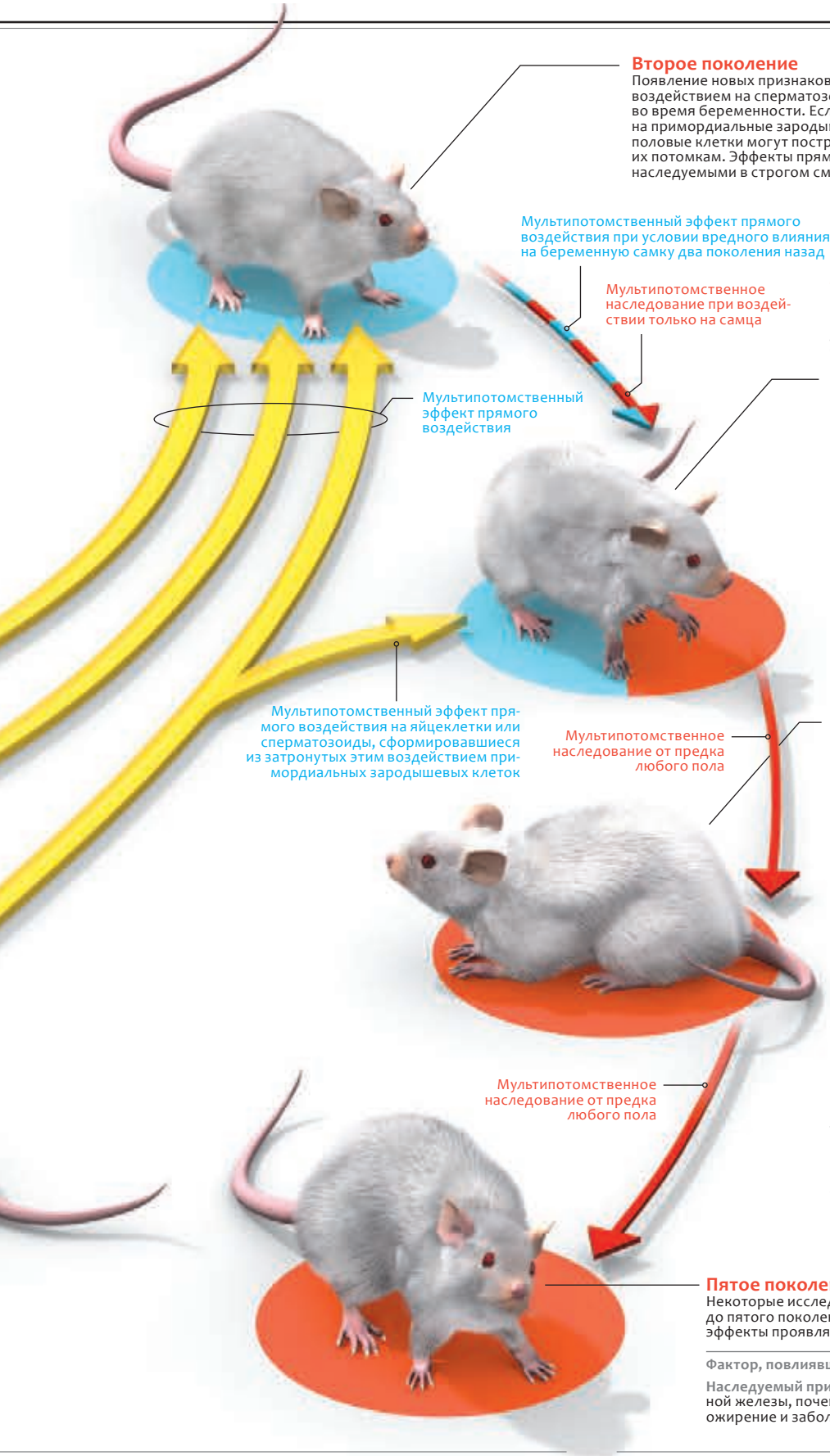
Генетическая информация содержится в закодированном виде в хромосомной ДНК. Но есть и другой информационный пласт, использующий эпигенетические маркеры, например метильные группы (CH_3). Они связываются с ДНК и гистонами, на которые последняя намотана, как нитка на катушку. Когда такие маркеры присоединяются к самим генам или вблизи них, они, как правило, влияют на количество кодируемых данным геном РНК или белков.



Сохранение эпигенетических признаков в череде поколений

Прямое воздействие загрязняющего вещества или стресс-фактора может вызвать появление наследуемых признаков. Они сохраняются в двух поколениях, если воздействие затрагивает одновременно и взрослого самца, и его же половые клетки. Сохранение в трех поколениях возможно в случае, если воздействие затрагивает взрослую самку, находящуюся на определенном этапе беременности *(отмечено синим на следующей стр.)*, вместе с эмбрионами следующего поколения и половыми клетками этих эмбрионов. Наследование эпигенетического признака в еще более отдаленных поколениях *(отмечено красным)* происходит только тогда, когда маркировка выдерживает два последовательных этапа перепрограммирования после оплодотворения *(внизу)*. В ходе перепрограммирования большая часть эпигенетических маркеров удаляется, однако позднее они записываются заново.





Второе поколение

Появление новых признаков у детенышей можно объяснить прямым воздействием на сперматозоиды отца или на организм матери во время беременности. Если неблагоприятный фактор повлиял на примордиальные зародышевые клетки детенышей, то их зрелые половые клетки могут пострадать, и возникшей дефект передастся их потомкам. Эффекты прямых воздействий не всегда оказываются наследуемыми в строгом смысле слова.

Третье поколение

Эпигенетическое наследование в строгом смысле этого слова проявляется лишь в третьем поколении, если изначально внешнее воздействие повлияло на предков мужского пола. Современные исследования позволили выделить несколько видов таких воздействий.

Фактор, повлиявший на предков: страх, вызванный незнакомым запахом

Наследуемый признак: сильная дрожь при появлении данного запаха

Фактор, повлиявший на предков: высококалорийная диета и вещества, провоцирующие развитие диабета

Наследуемый признак: непереносимость глюкозы и инсулинорезистентность

Четвертое поколение

В долгосрочных экспериментах беременных самок обычно подвергают воздействию токсичных веществ или различных стрессовых факторов. Необходимо получить как минимум четыре поколения потомков, чтобы доказать, что новые признаки будут наследуемыми в строгом смысле слова.

Фактор, повлиявший на предков: метоксихлор; винклозолин

Наследуемый признак: пониженное количество сперматозоидов, их малоподвижность; повышенная возбудимость у женских особей

Фактор, повлиявший на предков: диоксин

Наследуемый признак: низкий уровень тестостерона у самцов; бесплодие или выкидыши у самок

Фактор, повлиявший на предков: бисфенол А (BPA)

Наследуемый признак: низкий уровень тестостерона у самцов; аномальные изменения яичников или раннее половое созревание у самок

Фактор, повлиявший на предков: ракетное топливо; ДДТ

Наследуемый признак: высокая склонность к ожирению; поликистоз яичников

Пятое поколение

Некоторые исследования проводились нами вплоть до пятого поколения и доказали, что отдельные эффекты проявляются даже в нем

Фактор, повлиявший на предков: винклозолин; ДДТ

Наследуемый признак: заболевания предстательной железы, почек и половых желез у самцов; ожирение и заболевания яичников у самок

Illustration by Emily Cooper

на эндокринную систему, точнее — они блокируют распространение гормональных сигналов, отвечающих за формирование и функционирование репродуктивных органов. Мы вводили химические вещества беременным лабораторным крысам на протяжении второй недели беременности, когда у крысиных эмбрионов развиваются гонады, и выяснили, что почти все мужское потомство при этом вырастает с недоразвитыми яичками, которые вырабатывают слишком мало сперматозоидов, и притом с низкой жизнеспособностью.

В то время мы вообще не думали об эпигенетических механизмах, и нам даже в голову не могло прийти, что последствия введения ядохимикатов могут наследоваться. Поэтому я не планировал в дальнейшем разводить крыс, на которых можно было бы воздействовать метоксихлором или винклозолином в пренатальный период. Но как-то раз Андреа зашла в мой офис с извинениями: дело в том, что по ошибке она скрестила самца и самку крыс, которые оба появились на свет в ходе нашего эксперимента, но не были родственны друг другу (т.е. представляли разные генетические линии).

Тогда я предложил проверить, не обнаружатся ли дефекты яичек у самцов и во втором поколении крыс, полученных от самок, подвергшихся воздействию токсинов, — просто на всякий случай, без особой надежды на положительный результат. Но, к нашему изумлению, более 90% самцов из второго поколения экспериментальной линии оказались носителями тех же аномалий, что и их отцы, хотя последние во время кратковременного вредного воздействия на их матерей (т.е. бабушек для второго поколения) были лишь крошечными комочками клеток, не больше булавочной головки.

Результат оказался особенно неожиданным еще и потому, что все проводимые в те времена токсикологические исследования были направлены на поиск доказательств того, что ядохимикаты, подобные винклозолину, повышают частоту вредных мутаций в ДНК, — но безуспешно. Наши опыты тоже продемонстрировали, что у крыс, подвергавшихся химическому воздействию, частота мутаций в ДНК не превышала нормы. Кроме того, классическая генетика была просто не в состоянии объяснить, как новый признак может внезапно появиться с частотой 90% в потомстве двух неродственных линий млекопитающих.

Впрочем, я хорошо понимал, что даже самый крошечный эмбрион уже содержит примордиальные зародышевые клетки, которые дают начало и яйцеклеткам и сперматозоидам. Поэтому я предположил, что скорее всего химикаты повлияли непосредственно на эти клетки-предшественники и данный эффект попросту сохранился в клетках, которые в дальнейшем превратились в мужские и женские гаметы, — и в итоге негативное воздействие ядохимикатов проявилось и у внуков. Но если дело обстояло именно так, то кратковременное химическое воздействие могло бы привести к проблемам с фертильностью лишь непосредственно у второго поколения, а в последующих поколениях самцы должны были оказаться совершенно нормальными.

Проверить последнее предположение можно было единственным способом. Мы получили третье, четвертое, и даже пятое поколения «постэкспериментальных» крыс (при этом всякий раз скрещивали неродственных потомков, чтобы предотвратить «растворение» изучаемого признака). И раз за разом мы наблюдали, что по достижении полового созревания даже в отдаленных поколениях самцов проявляются все те же характерные признаки пониженной фертильности, что и у первого поколения. И весь этот долгосрочный эффект был спровоцирован однократным и кратковременным (хотя и аномально интенсивным) воздействием ядохимикатов, которыми уже в течение нескольких десятилетий люди беззаботно обрабатывали фрукты, овощи, виноградники и даже поля для гольфа.

Я был потрясен. Снова и снова на протяжении нескольких лет мы повторяли эксперименты, чтобы подтвердить достоверность этих странных результатов и собрать дополнительные доказательства. И в итоге пришли к единственно возможному заключению: внешнее воздействие вызывало у крыс эпимутацию, которая нарушает правильное развитие гонад у эмбрионов мужского пола. Она передается из поколения в поколение от сперматозоидов клеткам эмбриона, в том числе примордиальным зародышевым клеткам. В 2005 г. мы опубликовали статью в журнале *Science*, дополнив нашу эпимутационную гипотезу интригующими, но еще довольно сырыми свидетельствами того, что воздействие препарата изменило паттерн метилирования некоторых важных участков ДНК в сперматозоидах всего мужского потомства, родившегося после эксперимента с ядохимикатами.

Тревожные перспективы

И грянул гром. Начались бурные дебаты, одна из причин которых заключалась в том, что опыты, проводимые в компаниях — дистрибьюторах винклозолина, а также в непромышленных исследовательских центрах, долгое время не могли подтвердить достоверность некоторых наших результатов, — вероятно, по причине использования несколько отличающихся экспериментальных методик. Например, одни исследователи не инъецировали крысам химикатов, а скармливали их. Другие спаривали инбредные линии крыс (произошедшие от родителей, состоящих в кровном родстве) или допускали спаривание самцов из постэкспериментальных поколений с самками из контрольной линии, что совершенно нежелательно, поскольку приводит к существенному угнетению признака в последующих поколениях.

Впрочем, за последние годы накопилось много доказательств того, что эпимутации способны сохраняться в течение нескольких поколений. Последующие работы в нашей лаборатории показали, что «правнуки» крыс, получавших препарат, демонстрируют те же изменения, что и их предки, в распределении метильных групп в ДНК сперматозоидов, семенников и яичников, а также аномальную активность генов в примордиальных зародышевых клетках. Вдобавок мы обнаружили, что в четвертом поколении грызуны проявляли склонность

CORBIS

Опрыскивание инсектицидом ДДТ *— обычный для 1940–1950-х гг. метод борьбы с кровососущими насекомыми. Не исключено, что контакт с этим препаратом вызвал у многих людей того поколения эпимутации, которые теперь проявляются даже у малышей, рожденных в новом тысячелетии.*

к увеличению веса и нервозности; они даже к выбору партнера для спаривания относились по-другому. В течение этого же времени и наша группа, и другие ученые дополнили список факторов, вызывающих эпимутации. Это были различные загрязняющие вещества, определенные виды стресса и т.п. Кроме того, наследование приобретенных признаков последующими поколениями было экспериментально подтверждено на широком спектре видов, включая растения, мух, червей, рыб, грызунов и свиней.

В 2012 г. наша группа опубликовала данные о том, что диоксин, ракетное топливо, инсектициды, а также комбинация бисфенола *A (BPA)* с фталатами (химическими компонентами пластмасс, входящих в состав зубных пломб и контейнеров для пищевых продуктов) способны вызвать у беременных крыс самые разные наследственные нарушения (аномалии полового созревания, ожирение, заболевания яичников, почек и предстательной железы) и что эти изменения сохраняются даже в четвертом поколении. Нам удалось выявить сотни специфических изменений в паттерне метилирования ДНК сперматозоидов. Наблюдаемые при этом эффекты совершенно не вписываются в схемы наследования, известные из классической генетики, поэтому есть все основания полагать, что причина нарушений заключается не в мутациях ДНК, а в эпигенетических изменениях.

Кейлон Брюнер-Тран (Kaylon Bruner-Tran) и Кевин Остин (Kevin Osteen) из Медицинской школы Университета Вандербильта, занимавшиеся изучением последствий введения мышам диоксинов, обнаружили, что около половины самок, рожденных от особей, подвергшихся воздействию веществ данного класса, были бесплодны, а у другой половины беременность часто заканчивалась выкидышами. Выяснилось к тому же, что проблемы с зачатием и вынашиванием потомства сохраняются на протяжении еще как минимум двух последующих поколений.

Конечно, дозы химических веществ, вводимые подопытным животным во время исследований, намного превышают те, которые можно получить, обитая в условиях даже сильного загрязнения среды. Однако эксперименты, проведенные Дженнифер Уолстенхолм (Jennifer Wolstenholme) и ее коллегами из Медицинской школы Виргинского университета, показывают, что устойчивый эпигенетический эффект наблюдается у животных даже при дозах, сопоставимых с теми, с которыми человек порой сталкивается в повседневной жизни. Так, они обнаружили, что если в пищу подопытным мышам добавлять столько бисфенола *A*, чтобы его содержание в крови животных достигло такого же уровня, как у беременных женщин, то потомки таких грызунов вплоть до пятого поколения проявляют значительно меньше активности в исследовании окружающей среды, но зато гораздо больше общаются с другими особями. Исследователи подозревают, что описанный поведенческий сдвиг был вызван изменением активности генов, кодирующих окситоцин и вазопрессин, которые, как известно, влияют на социальное поведение. Кажется весьма вероятным, что, по аналогии с нашим исследованием по влиянию *BPA* на крыс, наблюдаемые эффекты обусловливаются изменением паттерна метилирования ДНК, однако прямых доказательств пока не найдено. К тому же здесь могут проявлять себя и другие виды эпигенетических изменений.

Полным ходом идут и другие исследования, из которых в ближайшее время мы сможем узнать, сохраняются ли эпимутации в течение нескольких поколений у человека, подобно тому как это происходит у грызунов.

Отправной точкой одной из таких работ послужил несчастный случай, произошедший в 1976 г. в итальянском городе Севезо, когда при взрыве на химическом заводе жители близлежащих домов подверглись воздействию высочайших концентраций диоксина — самых высоких из когда-либо наблюдавшихся при утечках этого вещества. Ученые измерили уровень диоксина в крови примерно у тысячи отравившихся женщин и сейчас продолжают регулярно делать анализы крови у пострадавших и, конечно, наблюдать за их здоровьем. В 2010 г. исследователи сообщили, что десятикратная разница во времени воздействия диоксина на женский организм при упомянутой аварии соответствует увеличению

времени, необходимого женщине для зачатия, в среднем на 25%, а риск бесплодия возрастает при этом вдвое. Кроме того, в 2013 г. ученые сообщили, что у всех женщин, включая и тех, которым на момент аварии было меньше 13 лет, вдвое повысился риск развития метаболического синдрома — комплекса симптомов, включающего повышение кровяного давления и уровня глюкозы в крови. Наконец, они обнаружили, что внучки многих из пострадавших женщин проявляют признаки дисфункции щитовидной железы.

Зная, что у лабораторных животных репродуктивные и метаболические расстройства наиболее часто передаются по эпигенетическому механизму, из приведенных данных можно заключить, что диоксин вызывает сходные эпимутации и в организме человека. Гипотеза получит дополнительное подтверждение, если при дальнейших наблюдениях за детьми и внуками пострадавших женщин обнаружится аномально высокий уровень бесплодия, ожирения и связанных с ними симптомов и тем более если удастся выявить у них аномалии в патерне метилирования ДНК.

Когда крысам вводили ДДТ, обнаружили, что более половины потомков в четвертом поколении страдают ожирением, хотя животные второго поколения были еще вполне нормальных размеров

Маркус Пембри (Marcus Pembrey) из Университетского колледжа Лондона и Ларс Улов Бюгрен (Lars Olov Bygren) из Каролинского института в Стокгольме провели вместе со своими коллегами ряд весьма любопытных исследований, опираясь на обстоятельства, сложившиеся естественным образом. Они проанализировали данные, касающиеся примерно 300 человек, которые родились в шведском городке Эверкаликс в 1890, 1905 и 1920 гг., а также их родителей, бабушек и дедушек. Ученые сопоставили даты и причины смерти различных людей из числа этих трехсот со снабжением продуктами питания в Эверкаликсе, где в течение XIX века несколько раз наблюдались чередования двухлетних циклов, в которых первый год был высокоурожайным, а следующий — крайне неурожайным. Оказалось, что женщины, чьи бабушки по отцовской линии в раннем детстве пережили один из этих резких переходов от нормального питания к практически голодному существованию, имели заметно более высокие показатели смертности от сердечно-сосудистых заболеваний.

Любопытно, что ничего подобного не наблюдалось среди мужчин и женщин, у которых недоедали бабушки или дедушки по материнской линии. Именно такой необычный порядок наследования признаков характерен для так называемого импринтинга. Аналогичные данные были получены и при изучении судьбы потомков голландцев, переживших голод во время Второй мировой войны.

Эпигенетический импринтинг

Несмотря на обилие фактов, многие биологи по-прежнему отказываются признавать, что эпимутации, возникшие под давлением средовых факторов, могут закрепляться в примордиальных зародышевых клетках и передаваться потомкам. Дело в том, что сама идея такой передачи противоречит давно сложившемуся убеждению, будто все эпигенетические маркеры удаляются из ДНК после оплодотворения, а затем перезаписываются — и не один раз, а целых два. Отсюда следует, что данные процессы должны начисто стереть любые приобретенные эпимутации, прежде чем они вызовут изменения у следующих поколений. Такие привычные суждения стали еще одной причиной того, что наши выводы по исследованиям 2005 г. встретили шквал критики. Однако мы вовсе не отрицаем, что эпигенетическая информация действительно стирается, вопрос лишь в том, каковы масштабы процесса.

Первая фаза удаления эпигенетической информации длится несколько суток после зачатия. Хромосомы освобождаются от метильных групп, и именно благодаря этому эмбриональные стволовые клетки приобретают способность давать начало любым иным клеточным типам. Затем маркеры добавляются заново, когда плод начинает развиваться. По мере деления и специализации клеток у каждого отдельного их типа формируется свой паттерн метилирования в соответствии с предназначением клеток.

Однако есть гены, которые ускользают от эпигенетической «чистки». Их называют импринтированными отцовскими или материнскими, потому что сохранившиеся на них эпигенетические маркеры обеспечивают использование только материнских или только отцовских копий генов при синтезе необходимых в ходе развития белков. Например, у моих детей ген *IGF2*, который кодирует гормон, важный для роста плода, активен только на хромосоме, унаследованной от меня. Копия гена, унаследованная от матери, отключается под влиянием метилирования ДНК одной из некодирующих РНК.

Вторая волна удаления эпигенетической информации, а затем ее перепрограммирование происходят позднее, когда эмбрион крысы достигает размеров булавочной головки, а эмбрион человека — размеров горошины. В это время в только что сформировавшихся гонадах эмбриона появляются примордиальные зародышевые клетки — именно на данной стадии развития эмбриона мы и вводили винклозолин или другие загрязняющие вещества лабораторным животным в наших экспериментах по эпигенетическому наследованию. У крыс этот период

длится около недели, а у людей — с шестой по 18-ю неделю беременности. Принято считать, что на второй стадии удаляются практически все метильные группы — даже у импринтированных генов в предшественниках половых клеток. Впрочем, позднее маркеры присоединяются заново, обеспечивая правильное развитие каждого пола. Особь женского пола, хромосомы которой в конечном счете попадают в яйцеклетки, получает материнский паттерн метилирования ДНК, а особь мужского пола, чьи хромосомы в конце концов попадают в сперматозоиды, — отцовский. Весь этот сложный процесс исключает приобретение потомством двух инактивированных или двух активных копий импринтированных генов — ведь организму каждого пола требуются одна активная и одна неактивная копии.

По-видимому, внешние воздействия влияют как раз на механизм восстановления маркеров у импринтированных генов, и тогда он может ошибочно закрепить только что возникшую эпимутацию в клетках зародышевой линии. Итак, если некоторый фактор (загрязняющие вещества, гормональный дисбаланс, вызванный стрессом или дефицитом питательных веществ, и т.д.), влияющий на процесс метилирования, затронет эмбрион непосредственно перед началом второго этапа перезаписи, это может определить, какие именно эпигенетические маркеры будут стерты навсегда, а какие успешно переживут перепрограммирование.

Большинство эпимутаций, вероятно, приводят к незначительным последствиям или корректируются в последующих поколениях, однако из каждого правила бывают исключения. Если некоторая эпимутация в клетках зародышевой линии перестает редактироваться при перепрограммировании эпигенома, она может «застрять» в нем (наподобие того, как это происходит с импринтированными генами) — и тогда проявится в следующем поколении, а возможно, и в нескольких.

Если идея верна, то эпигенетическое наследование может иметь самые важные последствия для медицины. Некоторые ученые уже сейчас пытаются разобраться в том, могут ли так называемые обесогены (по аналогии с канцерогенами) — химические агенты, нарушающие метаболизм, приводя к ожирению, — вызывать у людей наследуемые изменения. В прошлом году Брюс Блумберг (Bruce Blumberg) и его коллеги из Калифорнийского университета в Ирвайне показали, что беременные мыши, которые пили воду с добавлением трибутилтина (реагента, широко используемого для предотвращения налипания ракушек на корпус кораблей), рожают мышат, склонных к образованию лишних жировых клеток и к ожирению печени. Такие изменения наблюдались у двух и более поколений — эффект, который легче всего объяснить именно эпимутациями. Несмотря на несомненное влияние, которое оказала на человеческий организм смена образа жизни и питания, произошедшая за последние 50 лет, рост числа пациентов, страдающих диабетом, ожирением и другими «болезнями богачей», связан также с неблагоприятными воздействиями, которым в свое время подверглись наши предки. В итоге они повысили восприимчивость современного поколения к целому ряду заболеваний, в основе которых лежат нарушения метаболизма.

Весьма симптоматично, что когда мы вводили крысам ДДТ, то обнаружили, что более половины потомков в четвертом поколении страдают ожирением, хотя животные второго поколения были еще вполне нормальных размеров. Виноваты в этом, скорее всего, опять-таки эпигенетические мутации. Для США, где в 1940–1950-х гг. дети нередко контактировали с ДДТ, это весьма настораживающее открытие. Неудивительно, что в трех поколениях начиная с 1950-х гг. доля взрослых американцев, страдающих ожирением, резко возросла и в настоящее время превышает 35%.

В заключение следует напомнить, что если средовые факторы могут напрямую вызывать долговременные изменения активности генов, не влияя при этом на сам геном, то традиционный взгляд на эволюцию как на процесс постепенного накопления случайных мутаций, которые закрепляются благодаря преимуществам их обладателей в борьбе за выживание и оставление потомства, должен быть пересмотрен и расширен. Возможно, эпигенетика сможет лучше объяснить, почему новые виды возникали в истории гораздо чаще, чем можно было бы предположить с учетом крайней редкости полезных мутаций непосредственно в ДНК. Здесь важно, что эпигенетические изменения, похоже, происходят в тысячу раз чаще, чем генетические. А значит, наиболее важной ролью эпигенетических маркеров (если не самой целью их существования) может оказаться резкое увеличение изменчивости особей в популяциях различных организмов. Роль естественного отбора при этом остается неизменной — выявлять среди всего разнообразия наиболее приспособленных особей, которые, успешно размножаясь, будут передавать следующим поколениям свои геномы, эпигеномы — а может и еще что-нибудь, о чем мы пока даже не догадываемся. ■

Перевод: В.Э. Скворцов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

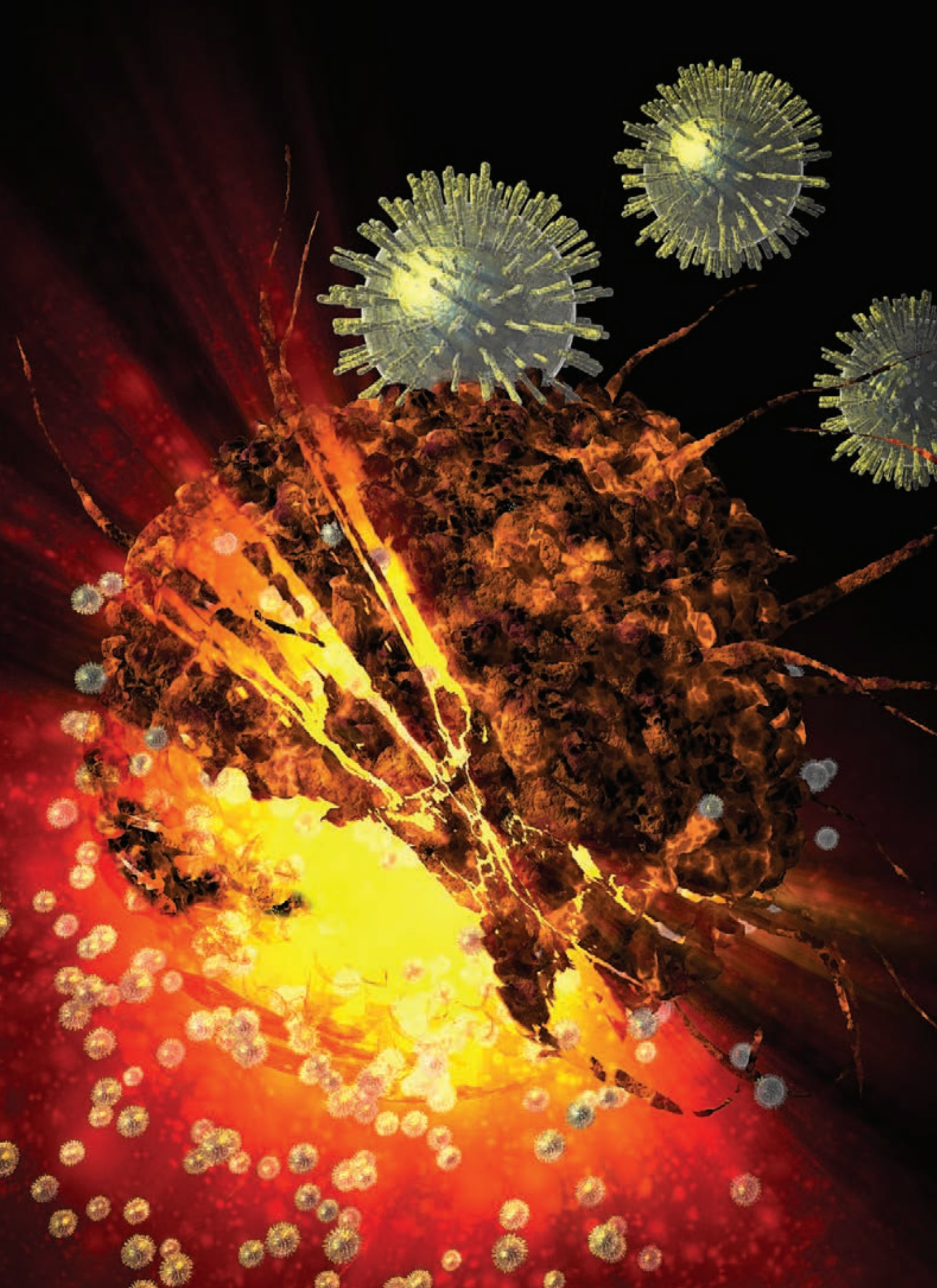
- Гиббс У.У. «Теневая» часть генома: сокровища на свалке // ВМН, № 3, 2004.
- Нестлер Э. Потайные переключатели в головном мозге // ВМН, № 2, 2012.
- Сайт Майкла Скиннера: http://skinner.wsu.edu
- Epigenetic Transgenerational Actions of Environmental Factors in Disease Etiology. Michael K. Skinner, Mohan Manikkam and Carlos Guerrero-Bosagna in Trends in Endocrinology and Metabolism, Vol. 21, No. 4, pages 214–222; April 2010.
- Understanding Transgenerational Epigenetic Inheritance via the Gametes in Mammals. Lucia Daxinger and Emma Whitelaw in Nature Reviews Genetics, Vol. 13, No. 3, pages 153–162; March 2012.
- Genomic Imprinting in Mammals. Denise P. Barlow and Marisa S. Bartolomei in Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, Vol. 6, No. 2, Article No. a018382; February 1, 2014.

Для некоторых онкологических больных вирусы, наделенные способностью убивать раковые клетки, оказались чудодейственным лекарственным средством. Теперь задача вирусологов — закрепить этот успех

ВИРУСЫ ПРОТИВ РАКА

Гордон Лэрд, Дуглас Махони
и Дэвид Штойдль

Illustration by GUYCO



В 1904 г. с одной итальянской женщиной случились два опасных для жизни инцидента: у нее диагностировали рак шейки матки, а чуть позже ее укусила собака. Больной ввели обычную вакцину против бешенства, после чего ее «огромная опухоль» таинственным образом исчезла. Рак не давал о себе знать до 1912 г. Вскоре после этого удивительного случая аналогичную вакцину на основе ослабленного вируса бешенства ввели еще нескольким пациенткам с таким же диагнозом. По сообщениям итальянского врача Никола де Паче (Nicola De Pace), у некоторых из них опухоль уменьшилась в размерах — в основном потому, что вирус каким-то образом уничтожал раковые клетки. К сожалению, позже болезнь вернулась, и все пациентки в конце концов скончались.

Несмотря на печальный исход, сам факт существования вирусов, убивающих раковые клетки (сегодня их называют онколитическими), не прошел мимо внимания вирусологов. Были поставлены опыты на животных, давшие более или менее обнадеживающие результаты, проведены пробные клинические испытания — но еще долго эта область находилась на периферии интересов исследователей. На пути развития вирусной терапии стояло множество преград: неясность механизма действия вирусов, неопределенность в их использовании для достижения лечебного эффекта, отсутствие инструментов получения более эффективных штаммов и вполне понятное нежелание лечащих врачей инфицировать и без того больных людей. Они предпочитали использовать ядовитые вещества (имеется в виду химиотерапия), а не микроорганизмы — в основном потому, что это было рутинным делом и они более или менее представляли, как действуют химиопрепараты.

Сегодня картина выглядит по-другому. Начиная с 1990-х гг. становилось все более ясно, что представляют собой раковые клетки и вирусы, которые способны их уничтожать, а с появлением возможности манипулировать генами начали раскрываться детали воздействия вирусных частиц на раковые клетки. Теперь генетики могут создавать вирусы с повышенной агрессивностью в отношении раковых клеток и при этом дающие меньше нежелательных побочных эффектов.

Усилия ученых уже начали приносить плоды. В 2005 г. в Китае получил разрешение властей на применение онколитический вирус, активный в отношении опухолей головы и шеи. Более десятка вирусов, потенциально

ОБ АВТОРАХ

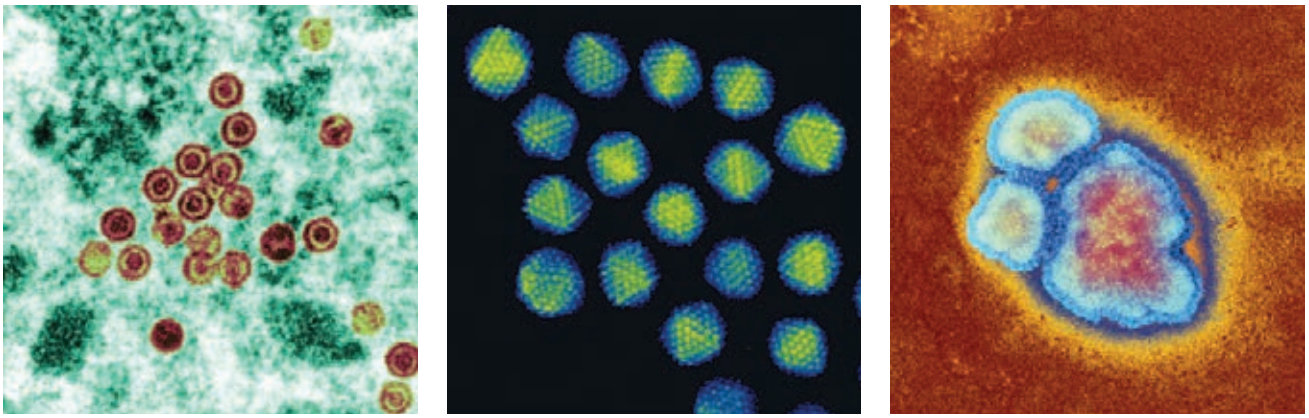
Гордон Лэрд (Gordon Laird) — писатель и журналист. Его статьи обсуждались в передачах *CNN*, *BBC* и *NPR*. Несколько раз был лауреатом премии *National Magazine*.

Дуглас Махони (Douglas J. Mahoney) — старший преподаватель факультета микробиологии, иммунологии и инфекционных заболеваний в Университете Калгари.

Дэвид Штойдль (David F. Stojdl) — доцент факультета биохимии, микробиологии и иммунологии Университета Оттавы, а также главный научный сотрудник Научно-исследовательского института при детской клинической больнице в Восточной Онтарио. Один из основателей компании, занимающейся исследованиями в области вирусной терапии, вошедшей недавно в состав фирмы *SillaJen*.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Некоторые генетически модифицированные вирусы инфицируют и уничтожают опухолевые клетки, не затрагивая клеток здоровых тканей.
- Проникнув вглубь опухоли, такие онколитические вирусы бурно размножаются, производя мириады клонов, инфицирующих все новые и новые клетки опухоли.
- Более десятка вирусов уже прошли испытания в клинике — сами по себе или в сочетании с традиционными химиотерапевтическими препаратами.
- Раньше перед проведением вирусной терапии больным вводили иммуносупрессанты, чтобы дать вирусу время проявить себя, прежде чем его уничтожит иммунная система. Сегодня сконструированы вирусы, которые помимо всего прочего стимулируют иммунную систему, и она начинает бороться с раком более активно.



Запрограммированные убийцы раковых клеток: *вирус простого герпеса, аденовирус и вирус кори (слева направо) — три из примерно дюжины вирусов, которые в результате генетических манипуляций приобрели способность инфицировать и уничтожать исключительно раковые клетки, а в некоторых случаях усиливать иммунный ответ на них*

способных атаковать различные опухоли, находятся на разных стадиях испытаний. Есть основания полагать, что в ближайшие несколько лет Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов *(FDA)* США одобрит использование одного, а возможно и двух вирусов в качестве онколитических агентов.

Так, согласно данным, представленным в 2013 г. на ежегодной конференции Американского общества клинической онкологии, 11% испытуемых в обширной группе больных с меланомой, прошедших курс вирусной терапии, «полностью излечились» — раковые клетки у них не обнаруживались. Препарат, получивший название *T-VEC*, представлял собой генетически модифицированный вирус простого герпеса двойного действия: он не только разрушал клетки, но и синтезировал белок *(GM-CSF)*, дополнительно стимулирующий иммунную систему к уничтожению раковых клеток. В отличие от химиотерапевтических препаратов с их мучительными побочными эффектами, вирус вызывал лишь симптомы, сходные с симптомами гриппа: слабость, озноб и повышение температуры. Компания *Amgen*, которая выпускает этот препарат, опубликовала данные о его эффективности в 2013 г. и весной 2014 г. Продолжительность жизни больных, принимавших *T-VEC*, была в среднем на четыре месяца больше, чем у получавших только *GM-CSF*.

Результаты не очень вдохновляют. Но следует учитывать, что один из десяти пациентов полностью излечивался. Частота излечения при приеме *T-VEC* во много раз превышает ту, которая характерна для всех недавно одобренных препаратов для борьбы с меланомой, в том числе и для вемурафениба, разрешенного к применению в 2011 г. после опубликования результатов испытаний в *New England Journal of Medicine*: в этом случае доля излечившихся была менее 1%.

Но самое удивительное заключалось в том, что примерно 90% тех, на кого подействовала вирусная терапия, жили более трех лет после лечения. Так, одна пациентка из Нью-Джерси — назовем ее Сью Болин — безуспешно лечилась от меланомы традиционными методами и в конце концов попала в группу испытуемых, на которых проверялось действие *T-VEC*. Спустя три года после прохождения курса вирусной терапии у нее попрежнему не обнаруживалось никаких признаков рака. «Я — одна из тех счастливчиков, кому лекарство помогло. Это просто чудо!» — говорила она.

Теперь нужно добиться, чтобы таких счастливчиков было не 11%, а гораздо больше. Некоторые из вирусов, применяемых в клинических испытаниях, действительно показывают лучшие результаты. Но мы продолжаем поиски способов повышения эффективности уже апробированных штаммов.

Программируемая биологическая машина

Вирусы обладают рядом свойств, которые обусловливают целесообразность их применения в качестве противоракового средства. Так, некоторые из них — сами по себе либо при внешнем воздействии — избирательно инфицируют раковые клетки или быстро реплицируются только в них. Здоровые клетки почти не затрагиваются, что очень важно для минимизации побочных эффектов, настоящего бича традиционной химио- и лучевой терапии.

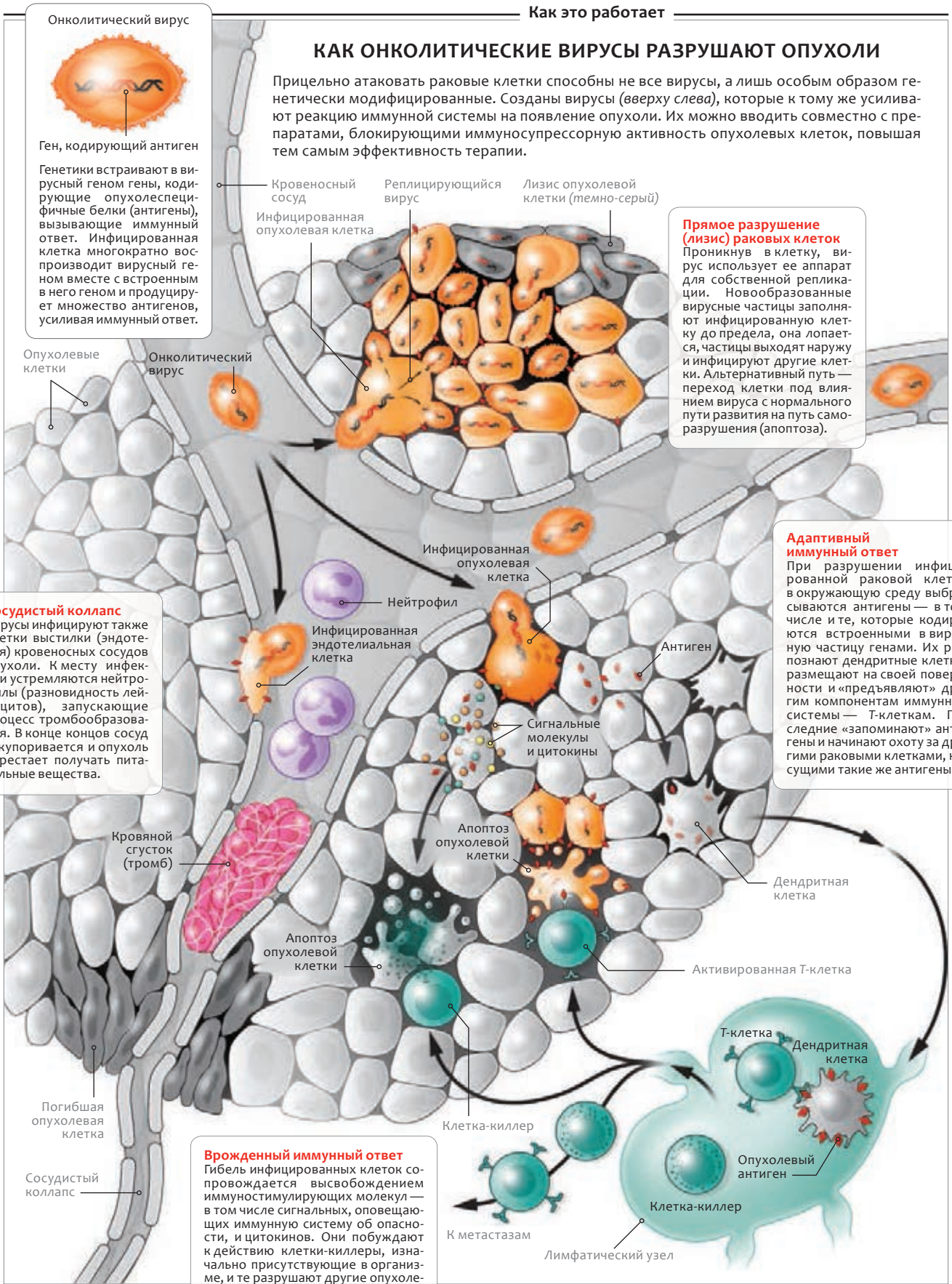
Проникнув в раковую клетку, вирусы немедленно начинают свою разрушительную работу. Они используют клеточный аппарат копирования генетического материала и синтеза белков для собственных нужд. При благоприятных условиях раковая клетка оказывается переполненной вирусными частицами, лопается (лизирует, откуда и произошло слово «онколитический») и выбрасывает в межклеточное пространство целую армию «бойцов», поражающих другие клетки опухоли, иногда даже те, которые уже начали образовывать метастазы на значительном удалении от первичного очага опухолевого роста. В альтернативных случаях вирус действует более скрытно: он постепенно перепрограммирует раковую клетку так, что она вступает на путь саморазрушения (апоптоза). По существу, вирусы превращают раковые клетки в «фабрики» по производству все больших и больших количеств новых вирусных частиц.

SCIENCE SOURCE

Как это работает

КАК ОНКОЛИТИЧЕСКИЕ ВИРУСЫ РАЗРУШАЮТ ОПУХОЛИ

Прицельно атаковать раковые клетки способны не все вирусы, а лишь особым образом генетически модифицированные. Созданы вирусы *(вверху слева)*, которые к тому же усиливают реакцию иммунной системы на появление опухоли. Их можно вводить совместно с препаратами, блокирующими иммуносупрессорную активность опухолевых клеток, повышая тем самым эффективность терапии.



SOURCE: "TARGETED AND ARMED ONCOLYTIC POXVIRUSES: A NOVEL MULTI-MECHANISTIC THERAPEUTIC CLASS FOR CANCER," BY DAVID H. KIRN AND STEVE H. THORNE, IN NATURE REVIEWS CANCER, VOL. 9; JANUARY 2009

Еще одно преимущество вирусной терапии заключается в ее многопрофильности. Многие противораковые препараты выводят из строя какой-то один элемент клеточного аппарата, и раковая клетка нередко находит способ компенсировать данный дефект. Кроме того, опухоль — это, по существу, клеточная экосистема, все компоненты которой произошли от одной пораженной клетки, но со временем претерпели генетические аберрации и другие изменения. Именно поэтому противоопухолевый препарат может быть активен в отношении одних клеток и не действовать на другие. Эту проблему решают, применяя комбинированную химиотерапию (как при лечении больных СПИДом). Вирусная терапия по самой своей природе сходна с комбинированной, поскольку вирус влияет на многие клеточные процессы и вероятность резистентности резко падает.

Помимо прямого разрушения раковых клеток вирус использует обходные пути воздействия на них, в частности вызывает сосудистый коллапс. В целом онколитические вирусы специфичны в отношении раковых клеток, но некоторые штаммы инфицируют и клетки выстилки кровеносных сосудов опухоли. Эта «вторичная» инфекция, в свою очередь, вызывает приток к месту поражения иммунных клеток, которые повреждают кровеносные сосуды и перекрывают ток крови, снабжающей опухоль питательными веществами. Еще один важный аспект вирусной терапии — быстрое привлечение клеток иммунной системы к месту первичной инфекции. Долгое время это считалось основной помехой на пути применения вирусной терапии: массированная атака на опухоль в принципе должна приводить к разрушению инфицированных клеток еще до того, как вирус успеет проникнуть вглубь опухоли. Поэтому на первых порах старались отсрочить иммунный ответ, с тем чтобы дать вирусу время на выполнение его задачи.

Многолетние исследования эффективности иммунотерапии показали, что опухоли выработали разнообразные системы защиты и, возможно, для того чтобы достичь успеха, нужно от них избавиться. Нет смысла «подстегивать» иммунитет, если опухоль подавляет иммунный ответ

Позже выяснилось, что иногда иммунные клетки перепрограммируются и переходят на сторону опухоли, вместо того чтобы бороться с ней, что во многих случаях сводит на нет действие химиотерапии. Мы не знаем доподлинно, каким образом, когда и почему происходит переключение, но зато нам известно, что процесс инфицирования и разрушения раковых клеток сопровождается образованием клеточных обломков, которые инициируют выработку небольших иммуностимулирующих молекул — цитокинов, и активацией дендритных клеток. В норме эти клетки циркулируют по всему организму, отыскивая любые чужеродные агенты, и активируют *Т*-клетки, которые их уничтожают. В нашем случае чужеродными агентами служат обломки раковых клеток.

Помимо всего перечисленного у вирусной терапии есть еще одно достоинство: вирусы можно генетически модифицировать для того, чтобы ослабить их способность размножаться в нормальных клетках и повысить скорость репликации в клетках опухоли. Можно придать им и другие свойства, такие, например, какими обладает *T-VEC*, дополнительно стимулирующий иммунную систему к борьбе с опухолью.

Супервирусы

Используя все эти сведения, биологи пытаются усовершенствовать вирусную терапию, модифицируя вирусы. Некоторые из полученных ими продуктов уже проходят клинические испытания, в их числе — видоизмененный вирус, способный связываться со специфическими рецепторами, которых у раковых клеток гораздо больше, чем у нормальных. С помощью рецепторов вирусные частицы проникают в клетки, и в результате вероятность инфицирования опухолевых клеток во много раз превышает таковую для их здоровых аналогов.

Альтернативный подход заключается в повышении скорости репликации вируса в раковых клетках. Поскольку последние непрерывно делятся, в них образуются в больших количествах вещества, необходимые для синтеза структур новых клеток. Эти вещества нужны и реплицирующимся вирусным частицам, отчего они предпочитают размножаться в клетках опухолей. С учетом этого были сконструированы вирусы, особенно нуждающиеся в веществах, которые в избытке присутствуют в раковых клетках. В частности, один из таких вирусов генетически модифицировали таким образом, что он не мог продуцировать тимидин, один из строительных белков ДНК, и вынужден был искать его источник «на стороне». Таким источником могла служить только раковая клетка, в нормальных клетках его недостаточно для удовлетворения потребностей вируса. Терапия с применением этого вируса уже проходит тестирование.

Группа, возглавляемая Джоном Беллом (John Bell) из Научно-исследовательского института при Клинической больнице Оттавы, совместно с Гленом Барбером (Glen Barber) и его сотрудниками из Университета Майами выявила еще одну причину, по которой вирусы

успешнее размножаются в раковых клетках: на пути к малигнизации клетки претерпевают генетические и другие изменения, в результате которых ослабляется их способность противостоять инфекции. Так, они перестают вырабатывать интерферон. Имея это в виду, Белл и Барбер сконструировали ряд вирусов (среди них — генетически видоизмененный вирус везикулярного стоматита, *VSV*), которые не могут размножаться нигде, кроме раковых клеток, лишившихся противовирусной защиты. Один из таких *VSV* проходит тестирование на больных, страдающих раком печени.

Что касается меня и моих коллег, то мы сосредоточились на поисках способа усиления иммунной реакции организма в ответ на малигнизацию. Испытания с использованием вируса *T-VEC* показали, что он инфицирует не все раковые клетки, образующие метастазы в удаленных от первичной опухоли частях тела. Но при этом 11% пациентов излечиваются полностью: нигде в их организме аномальных клеток не обнаруживается, скорее всего потому, что генетически модифицированный вирус стимулирует иммунную систему и она находит и разрушает клетки, до которых вирус на добрался. Об этом свидетельствует и тот факт, что в местах, где появились метастазы, присутствуют активированные *Т*-клетки.

В рамках той же иммуностимулирующей стратегии наши коллеги из Университета Макмастера в Онтарио и Клиники Мэйо в Рочестере, штат Миннесота, совместно с одним из нас (Дэвидом Штойдлем) встроили в онколитические вирусы гены, кодирующие специфические белки (антигены), на которые реагирует иммунная система. В качестве примера можно привести меланомоспецифичный антиген *(MAGE)*. Как показали опыты на животных, данные антигены размещаются на поверхности инфицированных раковых клеток, компоненты иммунной системы распознают их и уничтожают клетки. В это время онколитический вирус тоже разрушает опухолевые клетки и изменяет микроокружение опухоли так, что в результате усиливается иммунный ответ. Ожидается, что уже в начале этого года начнутся клинические испытания нового подхода.

Идея «подстегнуть» иммунную систему представляется весьма привлекательной. Но многолетние исследования эффективности иммунотерапии показали, что опухоли выработали разнообразные системы защиты и, возможно, для того чтобы достичь успеха, нужно от них избавиться. Нет смысла «подстегивать» иммунитет, если опухоль подавляет иммунный ответ.

Один из нас (Дуглас Махони) вместе с коллегами из Университета Калгари работают сейчас над тем, чтобы вывести из строя клетки-иммуносупрессанты, которые «орудуют» в недрах опухоли параллельно с онколитическими вирусами. Если это удастся сделать, иммунная система, получив дополнительный стимул от онколитического вируса, сможет бороться с раком более эффективно. В данной работе большим подспорьем для нас стали успехи, достигнутые в ходе многолетних исследований иммунологов, которые апробировали множество способов подавить иммуносупрессию. Один из таких способов, представляющийся наиболее перспективным, основан на использовании моноклональных антител, которые связываются со специфическими молекулами, называемыми *PD-1*. С большой вероятностью подобные комбинированные стратегии значительно повысят частоту излечения раковых больных.

Следует помнить, однако, о рисках, связанных с применением комбинированной терапии. Несмотря на то что вирусная терапия сама по себе показала свою безопасность (в ходе клинических испытаний отмечалось очень небольшое число случаев, когда возникали серьезные побочные эффекты), нет полной уверенности, что вирус поведет себя так же при одновременно проводимой иммунотерапии или при повышении титра. «До сих пор онколитическая вирусная терапия не вызывала опасений, — говорит наш коллега Стивен Расселл (Stephen Russell), профессор медицины из Клиники Мэйо. — Но с повышением ее потенциала и расширением сферы применения — особенно на фоне манипуляций с иммунной системой организма-хозяина — увеличивается риск побочных эффектов, и мы должны это учитывать».

Вирусная противораковая терапия не могла бы появиться на свет без использования достижений в различных областях биологии и медицины — молекулярной генетики, биологии рака, иммунологии опухолей, иммунотерапии, вирусологии и генной терапии. Многолетние исследования в этих направлениях дали ученым набор инструментов и информацию, которые необходимы для понимания взаимодействий между вирусами и организмом человека. То, что онколитическая вирусная терапия работает, не вызывает сомнений. Вопрос в том, как сделать ее более эффективной и осуществить тем самым мечту Николы де Паче, который еще 100 с лишним лет назад сообщил о таинственном уменьшении размеров опухоли после введения вакцины на основе вируса. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Волчок Д. Щит на пути рака // ВМН, № 7–8, 2014.
- Novel Oncolytic Viruses: Riding High on the Next Wave? Marianne M. Stanford et al. in Cytokine & Growth Factor Reviews, Vol. 21, Nos. 2–3, pages 177–183; April–June 2010.
- Thunder and Lightning: Immunotherapy and Oncolytic Viruses Collide. Alan Melcher et al. in Molecular Therapy, Vol. 19, No. 6, pages 1008–1016; June 2011.
- The Emerging Role of Viruses in the Treatment of Solid Tumours. M.G. Bourke et al. in Cancer Treatment Reviews, Vol. 37, No. 8, pages 618–632; December 2011.
- Virotherapy — Cancer Targeted Pharmacology. Alison Tedcastle et al. in Drug Discovery Today, Vol. 17, Nos. 5–6, pages 215–220; March 2012.
- Подробнее о последних достижениях в онкологии см. по адресу: ScientificAmerican.com/nov2014/cancer

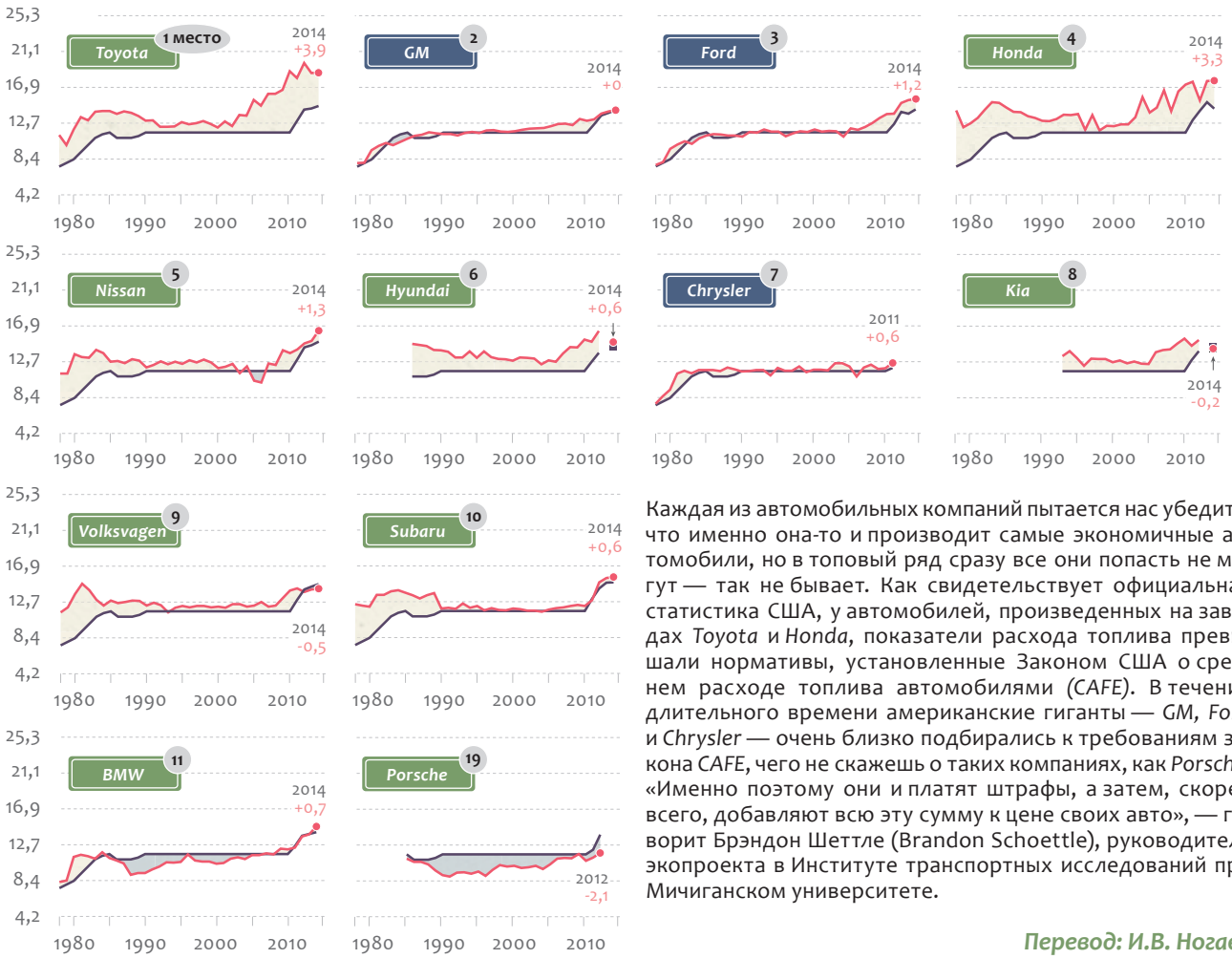
Какой автомобиль тратит меньше топлива?

Несмотря на старания автопроизводителей, первое место не удалось занять никому

Эффективность парка легковых автомобилей (учтены продажи в США по состоянию на 2013 г. в порядке убывания)

Требования CAFE (обязательны) *
Фактические показатели
Американские автомобили
Импортные автомобили †

** В США стандарты CAFE применяются в отношении всех автомобилей любого из производителей. † Некоторые компании, такие как Toyota, поставляющие автомобили для американского рынка, делают их на заводах, расположенных как на территории США, так и за ее пределами; показана только одна группа.*



Каждая из автомобильных компаний пытается нас убедить, что именно она-то и производит самые экономичные автомобили, но в топовый ряд сразу все они попасть не могут — так не бывает. Как свидетельствует официальная статистика США, у автомобилей, произведенных на заводах *Toyota* и *Honda*, показатели расхода топлива превышали нормативы, установленные Законом США о среднем расходе топлива автомобилями (*CAFE*). В течение длительного времени американские гиганты — *GM*, *Ford* и *Chrysler* — очень близко подбирались к требованиям закона *CAFE*, чего не скажешь о таких компаниях, как *Porsche*. «Именно поэтому они и платят штрафы, а затем, скорее всего, добавляют всю эту сумму к цене своих авто», — говорит Брэндон Шеттле (Brandon Schoettle), руководитель экопроекта в Институте транспортных исследований при Мичиганском университете. ■

Перевод: И.В. Ногаев

SOURCES: SUMMARY OF FUEL ECONOMY PERFORMANCE. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, MARCH 2004 AND JUNE 26, 2014 (CAFE and fleet performance data); WALL STREET JOURNAL MARKET DATA CENTER http://online.wsj.com/mdc/public/page/2_3022-autosales.html (sales rankings); Graphic by Jane Pong

Шэрон Янсен. Художественный мир женщины от Кристины Пизанской до Дорис Лессинг: шесть веков размышлений писательниц о своем мире *(Sharon Jansen. Reading Women's Worlds from Christine de Pizan to Doris Lessing. A Guide to Six Centuries of Women Writers Imagining Rooms of Their Own)*

Книга американской исследовательницы Шэрон Янсен посвящена истории создания художественного мира женщинами-писательницами. Она рассматривает как малые миры (представленные комнатой или домом), так и воплощенные в образе города или страны. Предметом научной рефлексии автора становится особая картина мира, увиденная глазами женщины. Ведь термином «женская проза» обозначают произведения авторов, которых интересуют темы, связанные с положением женщины, ее судьбой, отношениями с противоположным полом.

В поле зрения автора данной книги оказывается практически вся «женская проза» — от Кристины Пизанской (XIV в.) до таких известных авторов XX в., как Вирджиния Вулф и Дорис Лессинг, а также современной иранской писательницы Азар Нафиси, автора биографического романа «Чтение ''Лолиты'' в Тегеране». Материал изложен в форме живых диалогов (чаще всего воображаемых) между писательницами, что позволяет выявить сходные мысли, высказывавшиеся в разные исторические эпохи, и проследить их видоизменение. Янсен показывает, что во все века женщин волновали примерно одни и те же проблемы, главная среди которых — создание собственного художественного мира, в котором женщина может быть по-настоящему свободна и счастлива. Ее героини поразному решают свои проблемы, но всех объединяют сила воли и стремление к достижению поставленной цели, которой могут быть получение образования, счастливый брак и материнство или достижение высокого социального статуса.

Кристина Каллас. В кабинете писателя: беседы с авторами телевизионных сериалов *(Christina Kallas. Inside The Writers' Room: Conversations with American TV Writers)*

В настоящее время телевизионная драма, в частности сериалы, стала одним из наиболее востребованных зрителями жанров. Основа их успеха — качественный сценарий, автор которого должен обладать умением создать не только интересное, но и художественно выразительное повествование. Книга профессора Школы искусств Колумбийского университета Кристины Каллас стала итогом почти десятилетней работы. За этот период автор неоднократно встречалась с сценаристами практически всех заметных телесериалов, например «Подпольная империя», «Клан Сопрано», «Игра престолов», «Закон и порядок», «Секс в большом городе», «Борджиа» и многих других. С каждым из них Каллас ведет длительные доверительные беседы, не только выясняя, как они работают, но и показывая ту «внутреннюю кухню», которая обычно скрыта от посторонних глаз. В предисловии она пишет, что основной трудностью для нее всегда было установление доверительных отношений с интервьюируемыми, ведь ее собеседники — не просто известные люди, а те, которых знают в каждом американском доме.

Для каждого из авторов Каллас находит свою проблему. Например, в беседе с Томом Фонтаной, сценаристом «Борджиа» она выясняет, как создать эффект присутствия зрителя в далеком от нас прошлом. С Тимом Ван Паттеном она говорит о приемах сюжетосложения и их разном воздействии на зрителя и читателя. Она показывает, как непросто выстроить увлекательный телевизионный рассказ, даже основанный на первоклассном литературном первоисточнике. Благодаря увлекательной форме подачи материала книга Каллас привлекла внимание не только зрителей, но и профессионалов, став своеобразным пособием для студентов.

Питер Хант. Дж. Р.Р. Толкиен *(Peter Hunt. J.R.R. Tolkien)*

Питер Хант, один из старейших и наиболее титулованных исследователей детской литературы (первый заслуженный профессор по этой специальности в Великобритании), посвятил предлагаемую коллективную монографию поэтике фантастических романов Джона Рональда Руэла Толкиена. Чтобы сделать книгу доступной обычному читателю, авторы обратились к форме эссе, сочетающих глубину наблюдений с доступностью изложения. В одной из первых глав циклы Толкиена вписываются в литературный и научный контекст своего времени, а также и в дискурс литературы для детей. В последующих главах анализируются их ключевые образы, поэтика, приемы сюжетосложения и организации повествования. Образ дракона, например, сопоставляется с основными трактовками данного сюжета

в мировом фольклоре, мотив путешествий сравнивается с классическими текстами Жюля Верна и других авторов, а образы исполинских деревьев помещаются в круг мифов о мировом древе. Не менее поучительны наблюдения над функцией пейзажа в отдельных романах: показано, что он не просто образует единый авторский мир, но и постепенно усложняется, эволюционирует в соответствии с углублением авторской концепции.

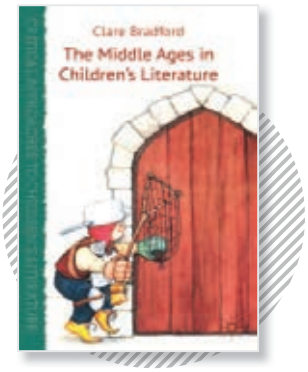
Заключительная часть книги посвящена выявлению места Толкиена в современной культуре. Анализируются иллюстративные циклы, созданные в разных странах, а также особенности переноса образов Толкиена в кино и на телевизионный экран. В частности, показано, что современные экранизации основываются именно на восприятии прозы Толкиена художниками-иллюстраторами.

Кимберли Рейнолдс. Современная детская литература: введение ***(Kimberley Reynolds. Modern Children's Literature: An Introduction)***

В настоящее время детская литература находится в центре внимания критиков и специалистов из самых разных областей науки — педагогов, социологов, психологов, историков. Книга английского профессора Кимберли Рейнолдса представляет собой второй выпуск коллективной монографии, задуманной как обозрение основных проблем и возможных аспектов изучения англоязычной детской литературы 1920–1960-х гг. Важно, что большинство авторов соединяют ключевые британские, американские и австралийские тексты и книги — от обычных текстов и иллюстрированных книг для самых маленьких до электронных изданий последних лет. Наряду с ними рассматриваются и методические пособия, материалы для работы с самыми маленькими читателями, приемы и организация игр с книгами. Две статьи посвящены особенностям построения и восприятия современных иллюстрированных книг, предназначенных для подростков.

Несколько глав посвящены фэнтези и историческим романам. Важно, что рассмотрение сюжетов и основных тем соседствует с тщательным анализом языка и приемов изображения настоящего через прошлое. Авторы считают, что именно прошлое служит наиболее подходящей маской для разговора с подростком об острейших проблемах современности.

Завершают книгу подборка материалов, посвященных современной детской поэзии, и анализ электронных изданий, предназначенных для маленьких читателей.



Клэр Брэдфорд. Средневековье в детской литературе ***(Clare Bradford. The Middle Ages in Children's Literature)***

Книга профессора Мельбурнского университета Клэр Брэдфорд посвящена отражению и использованию средневековых реалий и сюжетов в современной прозе для детей и подростков. В главе, открывающей книгу, она прослеживает изменение подходов историков к Средним векам и анализирует приемы использования средневекового материала в литературе для молодежи. В поле зрения автора оказывается огромный диапазон текстов — от серии романов о Гарри Поттере до современных фэнтези и фантастики. В качестве дополнения она рассматривает и рецепцию Средневековья в беллетристике, научной литературе и фильмах.

Бредфорд показывает, что с самого начала возникновения исторической беллетристики именно Средневековье стало неисчерпаемым источником сюжетов, мотивов, тем и героев для авторов самых разных жанров и художественных направлений. Рассматривая особенности хронотопа исторических текстов, она выявляет приемы воплощения прошлого в романе и фэнтези. Обращаясь к искусству Средних веков, она показывает, как образы чудовищ и фантастических животных используются авторами, чтобы размышлять над современностью. Книга заканчивается главой, где автор анализирует читательские предпочтения и объясняет, почему подавляющее большинство современных текстов для молодого читателя так или иначе привлекают реалии Средневековья. ■

Подготовила Татьяна Колядич

palgrave
macmillan

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, к. 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 первое полугодие 2014 г. составит:
Для физических лиц: **1140 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью*.
Для юридических лиц: **1500 руб. 00 коп.**
Стоимость одного номера журнала: за 2010 г. — **30 руб. 00 коп.**, за 2011 г. — **40 руб. 00 коп.**, за 2012 г. — **60 руб. 00 коп.**; за 2013 г. — **100 руб. 00 коп.**
(без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **70 руб** заказной бандеролью, **50 руб.** — простым письмом.
Бланк подписки на журнал размещен на сайте **www.sciam.ru**.
Уважаемые подписчики! После подтверждения платежа вы будете получать журнал ежемесячно с доставкой в отделение почтовой связи.

* Если ваша заявка о подписке получена до 10-го 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
2014 г.												
2013 г.							объединенный выпуск		■	■		
2012 г.	■											
2011 г.		■	■	■	■							
2010 г.	■	■	■	■			■	■	■	объединенный выпуск		

* 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 772901001

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 772901001

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;
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**

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Senior Vice President and Editor in Chief: Mariette DiChristina
Executive Editor: Fred Guterl
Managing Editor: Ricki L. Rusting
Managing Editor, Online: Philip M. Yam
Design Director: Michael Mrak
News Editor: Robin Lloyd
Senior Editors: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Gary Stix, Kate Wong
Associate Editors: David Biello, Larry Greenemeier, Katherine Harmon, Ferris Jabr, John Matson
Podcast Editor: Steve Mirsky

Contributing editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna, John Rennie, Sarah Simpson
Art director: Ian Brown
President: Steven Inchcoombe
Executive Vice President: Michael Florek
Vice President and Associate Publisher, Marketing and Business Development: Michael Voss
Vice President, Digital Solutions: Wendy Elman
Adviser, Publishing and Business Development: Bruce Brandfon
© 2014 by Scientific American, Inc.

Читайте в следующем номере:

Идеи, меняющие мир

Десять решающих проблемы, улучшающих качество жизни прорывных изобретений: генный гений — новый инструмент для манипуляций с ДНК, способный произвести революционные изменения в медицине, лего атомного масштаба, перепрограммируемые клетки, прозрачные лабораторные животные, дисплеи, корректирующие зрение, сверхпрочный перерабатываемый пластик, голографическая микроскопия и другие удивительные открытия.

Охота за космическими ископаемыми

Когда карликовые галактики оказывались на орбите Млечного Пути, гравитация медленно разрушала их, а затем наша Галактика поглощала их остатки. Специалисты по «космической археологии» используют эти «ископаемые» для исследований прошлого Млечного Пути, а также для понимания процесса формирования и развития галактик в целом.

Боль, которая не проходит

В какой бы форме ни выражалась хроническая боль, она упорно сопротивляется лечению. Опиаты и другие принятые на текущий момент препараты не слишком успешно помогают в ее облегчении, к тому же сами по себе связаны с серьезными рисками для здоровья. Однако новые данные о причинах хронической боли могут позволить продвинуться в борьбе с ней.

Бешеные порывы

Изменения в характере высотных струйных течений могут привести к тому, что экстремально жаркое лето и суровая зима, подобные тем, что наблюдались в течение последних четырех лет, станут климатической нормой.

Вступающий на небо бог грозы

При раскопках в Холмуле, древнем городе майя на территории современной Гватемалы, был найден причудливый фриз, объясняющий сложный период истории майя. Полагают, что на фризе изображен основатель правящей династии, которая оказалась в центре конфликта между двумя сверхдержавами.

Иллюзия иммунитета

Математические симуляции механизма распространения гриппозной инфекции заставляют предположить, что старая — и несколько странная — концепция того, как именно функционирует иммунная система, может оказаться верной.

Паучья шарада

Некоторые пауки достигают немыслимых высот в подражании внешнему виду и поведению муравьев. Почему и зачем?

С Новым годом!

Подарите

ISSN 0208-0621

вашим близким подписку

ПОДПИСКА

12 или 6 номеров журнала в год, рассказывающих о последних открытиях в мире науки, медицины и технологий

АРХИВЫ НА DVD

Более 360 номеров журнала и более 5000 статей для поиска нужной информации. 1983–2014 гг.

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ

Мгновенный доступ к текущему номеру и архиву с января 2012 г. с вашего iPad

www.sciam.ru/projects/dvd-electronic-catalogue

ежемесячный научно-информационный журнал
В мире науки