

МЕДИЦИНА БУДУЩЕГО

Маленькие
чудеса

ПСИХОЛОГИЯ

Сила
самоконтроля

БИОЛОГИЯ

Уловки для
суперэволюции

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sci-ru.org

№5-6 2015

НА ГРАНИ МИРОВ

Изучение барьера черных дыр —
путь к объединению квантовой
механики и теории гравитации

12+





60



44

СОДЕРЖАНИЕ

Май / Июнь 2015

Главные темы номера

Археология

БЕЛЫЕ СТЕНЫ. МЕМФИС

Ольга Беленицкая

Российские археологи обнаружили фрагменты так называемых белых стен, которые ограждали первую столицу Древнего Египта

4



Конвергенция наук

ЗДОРОВЫЙ РАСЧЕТ

Валерий Чумаков

В наш век междисциплинарности математика вполне может быть полезной для ранней диагностики и лечения онкологических заболеваний

12



Физика

ОГНЕННАЯ ГРАНЬ МИРОВ

Джозеф Полчински

Черную дыру можно экранировать заслонкой из частиц, что противоречит как общей теории относительности, так и квантовой теории

18

Ядерная медицина

ИЗОТОПЫ НА СТРАЖЕ ЗДОРОВЬЯ

Наталья Лескова

Россия была пионером и остается одним из мировых лидеров в производстве сырьевых медицинских изотопов

26



Идеи, меняющие мир

ЧТО НЕСЕТ ВОСТОЧНЫЙ ВЕТЕР?

Ольга Калантарова

Может ли современный арабский Восток подарить человечеству идеи, которые станут всеобщими ценностями в XXI в.?

32



Нейронауки

К РАЗГАДКЕ ТАЙН МОЗГА

Наталья Лескова

В НБИКС-центре НИЦ «Курчатовский институт» проводятся прорывные эксперименты по наблюдению действующего мозга

38



Планетология

ОКЕАНЫ С НЕБЕС

Дэвид Джуитт и Эдвард Янг

Новые данные возродили дискуссию о том, были ли космические тела единственными источниками воды на нашей планете

44

Технологии

СЛУШАЯ ДАННЫЕ

Рон Коуэн

Используя выдающиеся способности человеческого слуха, ученые обнаруживают при помощи аудиоданных раковые клетки... и космические частицы

54

Здравоохранение

ВОЙНА С ЭБОЛОЙ

Хелен Брансуэлл

Эпидемия геморрагической лихорадки Эбола ускорила работы по созданию экспериментальных вакцин и новых методов борьбы с этой инфекцией

60



104

Наука и общество

НАШЕ ПРОЗРАЧНОЕ БУДУЩЕЕ

Дэниел Деннет и Деб Рой

В век цифровых технологий никакой секрет не будет надежным, а общественным институтам предстоят изменения по дарвиновскому принципу

Ядерная медицина

НАШ ДРУГ РАДИАЦИЯ

Наталья Лескова

Перспективы развития ядерной медицины в НИЦ «Курчатовский институт» и в современной российской реальности

Юбилей

МОСТ ИЗ ТРОИЦКА В БУДУЩЕЕ

Виктор ФРидман

ГНЦ РФ ТРИНИТИ, один из двигателей отечественной науки и технологий, скоро отметит свое 60-летие

Медицинская электроника

ЛЕЧЕНИЕ ТОКОМ

Кевин Трэси

При терапии воспалительных и аутоиммунных реакций вместо лекарств можно использовать стимуляцию нервной системы

Будущее медицины — 2015

ТВОРИМ НАНОЧУДЕСА

Ларри Гринемейер, Дина Файн Марон, Марк Пеплоу и Джош Фишман

Наномедицина ищет новые способы борьбы с раком, заживления ран и адресной доставки лекарственных средств

Экологическая устойчивость

РЫБА ДЛЯ НАРОДА

Эрик Ванс

Как небольшая группа дальновидных людей старается накормить Китай — и спасти мировые моря и океаны



12+

94

Психология

ВЛАДЕТЬ СОБОЙ — ВЛАДЕТЬ ВСЕМ МИРОМ

72

Рой Баумейстер

Самоконтроль — важное психологическое свойство, обеспечивающее успешность и помогающее преодолевать жизненные трудности

РАЗГОВОР С САМИМ СОБОЙ

136

Феррис Джабр

80

Когда мы говорим сами с собой, это помогает контролировать эмоции, строить планы и поддерживать чувство собственного достоинства



Биология

БУЙНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

144

Аксель Майер

Выявлены генетические особенности, за счет которых происходит быстрое формирование новых видов



86



Устойчивое развитие

94

ПЕЙ ДО ДНА!

152

Олив Хеффернан

Очищенные сточные воды могут стать самым безопасным и экологически приемлемым источником питьевой воды

Метеорология

ВЫЗЫВАЕМ ДОЖДЬ

162

104

Дэн Баум

Передовая наука находится на пути к решению проблемы управления погодой

Разделы

От редакции

3

116

50, 100, 150 лет тому назад

59, 127

Науки о здоровье

69

Книжное обозрение

174

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:



Сибирское отделение РАН

PETER



SERVICE



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ

о ч е в и д н о е



н е в е р о я т н о е

Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортв

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:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, Ф.С. Капица, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

д.и.н. Г.А. Белова;

проф. В.М. Борисов; доц. В.В. Галатенко;

к.ф.-м.н. А.М. Житлухин; проф. С.Н. Калмыков;

член-корр. А.Д. Каприн; к.ф.-м.н. А.Г. Красюков; член-корр. РАН

В.В. Наумкин; акад. В.П. Смирнов; проф. В.Е. Черковец

Над номером работали:

М.С. Багоцкая, А.Н. Божко,

С.В. Гогин, И.В. Ногаев, О.В. Калантарова,

Н.Л. Лескова, А.И. Прокопенко, О.С. Сажина,

И.Е. Сацевич, В.И. Сидорова, В.П. Фридман,

Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

Верстка:

А.Р. Гукасян

Дизайнер:

Я.В. Крутий

Корректурa:

Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета

НП «Международное партнерство

распространения научных знаний»:

В.Е. Фортв

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: 8 (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 №5 15-04-00548

© **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 опублико-
ваны 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.

НА ГРАНИ МИРОВ

Черные дыры мы обычно представляем как места, где сила тяготения настолько велика, что даже свет не может выходить за их пределы, где незамеченное неосторожным астронавтом пересечение невидимого и неощутимого «горизонта событий» озна

начает прохождение точки невозврата. В статье «Огненная грань миров» физик Джозеф Полчински обрисовывает новое представление о черных дырах, основанное на работе его и его коллег в области квантовой механики. «Горизонт событий» заменяется понятием фajerвола, образуемого благодаря таким частицам. Спорное открытие стало результатом попытки ученых разрешить противоречия в физике экстремальных условий, отмеченные, в частности, Стивеном Хокингом.

Совсем другие противоречия, значительно ближе во времени и пространстве, могут стать своего рода «черной дырой» на Земле. Арабский Восток, давший миру алгебру, ветряную мельницу и идею личной гигиены, все чаще оборачивается цивилизационной угрозой человечеству. О том, что несет арабский ветер, повествует Виталий Наумкин, директор Института востоковедения РАН: если люди не найдут способа мирно двигаться вперед, исследовать черные дыры может оказаться некому.

Биологи, биотехнологи и врачи постоянно ищут, как управлять внутренними ресурсами человеческого организма, чтобы лечить страшные болезни. В статье «Лечение током» нейрофизиолог Кевин Трэси описывает, что может сделать биоэлектронная медицина, использующая нейростимуляцию, для воздействия на воспалительные и аутоиммунные процессы, действующие при артрите, рассеянном склерозе, диабете и раке. В то же время на другом фронте биотехнологий ведется борьба против разразившейся в Африке эпидемии лихорадки Эбола, которая за прошлый год привела к инфицированию более 20 тыс. и гибели более 8 тыс. человек. Хелен Брансуэлл в своей статье описывает необычный двойной удар, который использует небольшая группа вирусов Эбола для прорыва обороны нашей иммунной системы.



Защиту от этого сулят в том числе нанотехнологии и радиационная медицина. Спецрепортаж «Будущее медицины — 2015» посвящен успехам нанотехнологий в области лечения рака, диагностики болезней и точечной доставки лекарственных средств внутри организма. С другой стороны, прекрасный инструмент для диагностики и транспорта лекарств обещает ядерная медицина, как объясняет в статье «Наш друг радиация» профессор МГУ Степан Калмыков. Для такого лечения требуются медицинские изотопы, производство которых — отдельная научная проблема. Как изотопы стоят на страже здоровья, читайте в беседе с членом-корреспондентом РАН Андреем Каприным и академиком Валентином Смирновым.

В наступлении на болезни медицина нашла еще одного союзника — математику. В интервью с Владимиром Галатенко (статья «Здоровый расчет») рассказывается о методе анализа генома, разработанного с помощью суперкомпьютеров МГУ, значительно упрощающем раннюю диагностику рака. А НБИКС-центр Курчатовского института между тем подбирается к разгадке тайн мозга, изучая сложную математику памяти. Это поможет лучше понять строение мозга — и справиться с той же болезнью Альцгеймера или рассеянным склерозом. ■

Редакция журнала «В мире науки / Scientific American»

АРХЕОЛОГИЯ

БЕЛЫЕ СТЕНЫ. МЕМФИС

Российские археологи, работающие на раскопках в Египте, обнаружили фрагменты Белых стен (Мемфиса), которые, в соответствии с письменными источниками, были первой столицей Древнего Египта

Мемфис был городом-крепостью, окруженным мощными стенами. Кирпич-сырец — достаточно стойкий материал, и кирпичи кладки до сих пор сохраняют правильную, близкую к идеальной форму.



Древнеегипетскую столицу пытались найти египтологи всего мира, и, если подлинность локализации подтвердится, это будет означать, что мы стали свидетелями уникального научного открытия. О том, как проходит работа археологов, расска-

зала **Галина Александровна Белова**, руководитель экспедиции, директор Центра египтологических исследований Российской академии наук.



Египетская Троя

— Галина Александровна, это открытие называют сенсационным и даже сравнивают с раскопками древней Трои. Почему?

— В письменных источниках город под названием Белые стены, или Мемфис, первая столица Египта, основанная легендарным царем Менесом в 3000 г. до н.э., упоминается постоянно. И исследователи, специализирующиеся на изучении истории Древнего мира, рано или поздно сталкиваются с этим топонимом. Долгие годы ученые пытались локализовать столицу, спорили, высказывали различные мнения.

После многолетнего тщательного изучения письменных источников и других данных мы приступили к исследованию памятника Ком Туман, поскольку было крайне вероятно, что древнейшая столица находилась именно здесь. И нам повезло...

— Как давно археологи начали искать древнеегипетскую столицу?

— Первую столицу объединенного Египта, которая называлась Белые стены, пытались локализовать еще тогда, когда египтология только зарождалась.

Геродот писал, что легендарный царь Менес, которому приписывают основание Мемфиса, построил плотину, отведя Нил, чтобы обезопасить город от его разливов, а как мы знаем, многие свидетельства Геродота находят подтверждения. Тем не менее для раскопок мы выбрали холмы, которые Нил обходил во время паводков. Ком Туман — это самый высокий холм на территории всего Мемфиса, его никогда не заливали воды реки. Более того, нельзя не согласиться с мнением известного египтолога Ганса Гедике, который говорил, что египтяне очень тщательно подходили к выбору места



расположения столичного города. Он должен был, во-первых, быть виден издали, во-вторых, до- влечь над всем районом, в-третьих, иметь опре- деленные преимущества на случай обороны. Ме- сто, выбранное саисскими фараонами для дворца, не было случайным, а скорее всего располагалось на фундаменте древней столицы.

Докопаться до правды

— Как проходили раскопки?

— Мы копаем уже десять лет и пока работаем с верхними слоями памятника, исключая, конечно, траншеи, которые специально прокладываем, чтобы ориентироваться в стратиграфии. Высота культурного слоя, который никогда не смывался водами реки, более 15 м: шли века, проходили тысячелетия, на этом месте разрушались одни постройки и стены, возводились новые. Снимая слой за слоем, мы не особенно рассчитывали, что нам повезет.

— Вам удалось обнаружить какие-нибудь ценные артефакты на территории Ком Тумана?

— С артефактами достаточно сложно, потому что город существовал на протяжении тысячелетий и с самого начала его грабили: были и гражданская война, и восстания, и захваты. (Вспомним стелу царя Пианхи, который стер столицу с лица земли.) Грабежи были нередки и во времена царствования Птолемея. И современные жители окрестных деревень почти каждую ночь роют ходы до 8 м глубиной, чтобы найти что-нибудь ценное. Везде, куда бы вы ни пошли, увидите грабительские лазы. Поэтому культурные слои сильно повреждены, и найти ценные артефакты, произведения искусства там, конечно, достаточно сложно.

*Египетский рабочий на раскопках;
вид на дворец Априя (внизу)*





*Руины дворца Априя (вверху);
так выглядит стратиграфия памятника (слева)*



Сокровища лучше сохранились в некрополях. Однако в последнее время стало ясно, что важнее изучить историю городов, посмотреть, как люди жили, что они производили, как была спланирована столица, каково было ее административное устройство, какие храмы находились в черте города и т.д. Например, в ходе раскопок в кирпичных стенах было обнаружено множество стрел, что свидетельствует о том, что город подвергался многочисленным нападениям. И это действительно интересно.

— **Полученные данные изменили представление об истории Древнего Египта?**

— Открытие этого памятника очень ценно для египтологии. Локализована первая столица, что очень важно. Целый ряд источников (а Белые стены упоминаются не только в египетских, но и в персидских, греческих и других документах) можно привязать к определенному месту. Многие факты будут уточнены, письменные источники получат объяснение.

Белые стены

— **Опишите, пожалуйста, эти загадочные белые стены. Как они выглядят, из чего построены?**

— Мемфис был городом-крепостью, окруженным мощными стенами. Снабженные внушительными бастиями, они сделаны из кирпича-сырца, их толщина составляет 11 м. Стены обмазаны раствором, сделанным на основе известняка, поэтому они белого цвета. Все это сохранилось. Некоторые исследователи предполагали, что стены были каменными. Но эта гипотеза не подтвердилась.



Зато теперь мы знаем, что Мемфис был городом-крепостью, окруженным мощными стенами. Кирпич-сырец — достаточно стойкий материал, и сейчас мы видим, что кирпичи до сих пор сохраняют правильную, близкую к идеальной форму.

Какой была длина белых стен, неизвестно. Мы пока проследили их на 150 м. Но ясно, что их протяженность намного больше.

— Какую роль в истории Египта сыграл Мемфис? Какова его судьба?

— В политической истории Египта Мемфис всегда занимал доминирующее положение. Начиная с эпохи Нового царства он, оставаясь главным экономическим и политическим центром страны, соперничал с Фивами, которые играли роль религиозной столицы государства. И если иногда столицу переносили, он всегда оставался вторым по значимости городом. Так, во времена

В политической истории Египта Мемфис всегда занимал доминирующее положение. Оставаясь главным экономическим и политическим центром страны, он соперничал с Фивами, которые играли роль религиозной столицы государства

Среднего царства, когда случились засуха и голод, столица была перенесена в Фаюм, который отличался плодородием. Фараон Рамсес II, почувствовав, что столица в опасном положении, перенес ее из Мемфиса в дельту Нила и основал там новый город — Перамсес. Однако Мемфис все равно оставался одним из главных городов. Удобное стратегическое положение обеспечивало преимуществу в проведении как военных, так и торговых операций. Конечно, были и времена упадка, связанные с гражданскими войнами, вражескими набегами. В учебниках пишут, что Египет был миролюбивой страной, но в действительности война была естественной составляющей политической и экономической жизни любого древнего государства.

Так, когда нубийские правители напали на Египет, их естественным желанием было стереть город с лица земли, уничтожить его. Такова была задача всех завоевателей. Стены, которые мы нашли, датируются Поздним временем, но мы определили, что они стоят на руинах Нового царства. И есть все основания полагать, что столица эпохи Древнего царства была заложена на этом месте. Город развивался, менял очертания, немного смещался, но местоположение его центра радикально не менялось. Его могли уничтожить и отстроить заново, реставрировать, но он находился на одном и том же месте.

Уходящая столица

— Тем не менее падение города произошло. Почему?

— Падение не только города, но всего Египта происходило неоднократно, например когда гиксосы (кочевые азиатские племена. — Примеч. ред.) около

1700 г. до н.э. завоевали страну и фараоны Нового царства должны были заново отвоевывать всю территорию.

— Дают ли ваши раскопки представление об уровне развития Египта того периода?

— Конечно. Помимо оборонительных стен мы открыли много построек самого различного назначения: целый ряд ремесленных мастерских, художественные ателье, где делали на заказ скульптуру; обнаружили производство знаменитого египетского голубого пигмента, широко использовавшегося в то время и бывшего предметом египетского экспорта в страны Средиземноморья. В этом году были обнаружены нетронутые мастерские по производству алебастровых изделий. Все это важно для понимания технологий и технологических процессов в Древнем Египте. В общем, мы изучаем, как была устроена жизнь в городе.

— А что нового вы узнали о верованиях древнего Египта, о его общественном развитии?

— Белые стены были связаны с почитанием основного бога Мемфиса — Птаха. По мере развития города культ Птаха укреплялся и распространялся на весь Египет. Мемфисский храм Птаха занимал огромную территорию, на которой строились другие храмы. Например, во времена Эхнатона в его пределах был построен храм Атона. Мы надеемся, что скоро локализуем храм богини Нейт, который находился севернее белых стен. Уже сделаны определенные находки.

Музей под открытым небом

— Расскажите, пожалуйста, про вашу экспедицию. Кто в нее входит?

— Наша команда интернациональная, мы уже лет десять вместе. Ядро экспедиции — Центр египтологических исследований. Мы приглашаем

ученых из других академических институтов и профильных организаций. К нам приезжали почвоведы, геофизики, реставраторы и другие российские исследователи. Кроме наших ученых в состав экспедиции входят египтологи из Австрии, Германии, Швейцарии... У нас сложился очень хороший и дружный коллектив.

— Власти Египта помогают вашей экспедиции?

— Да, конечно. Египетским властям довольно трудно после революции контролировать местное население, которое захватывает территории под застройку. Тем не менее министр древностей, которого мы, согласно египетским законам, первым поставили в известность о нашем открытии, настолько заинтересовался, что посетил место раскопок, высоко оценил их результаты и принял решение обнести памятник стеной, чтобы окрестные жители не могли продолжать уничтожать его.

— Есть ли какие-то планы относительно этого места? Будет ли создан, например, музей?

— Мы, безусловно, хотели бы сделать памятник доступным для посещения туристов, но за этим стоит огромная подготовительная работа, с которой трудно справиться в одиночку.

— Российские ученые давно интересуются Египтом, даже казалось, что нас связывают особые отношения...

— Интерес к Египту в России давний, достаточно вспомнить о заслугах русского ученого-египтолога Владимира Семеновича Голенищева. Но российские исследователи получили возможность изучать саму страну относительно недавно — около 20 лет назад, в то время как французские, английские, американские, чешские, польские, немецкие ученые уже давно проводят раскопки в Египте. Мы надеемся, что российское правительство





Следы ремесленных мастерских (вверху); во время раскопок (слева) были обнаружены фрагменты огромного количества керамических изделий (справа); участники экспедиции ЦЕИ РАН в Мемфисе (внизу)

оценит нашу научную работу и будет способствовать дальнейшим исследованиям центра на территории Египта. Мы благодарны за оказанную поддержку Министерству иностранных дел, посольству РФ в Египте, в первую очередь чрезвычайному и полномочному послу РФ Сергею Вадимовичу Кирпиченко. Надеемся, что в дальнейшем нам удастся тщательнее изучить стратиграфию этого уникального памятника. ■

Беседовала Ольга Беленицкая





КОНВЕРГЕНЦИЯ НАУК

ЗДОРОВЫЙ РАСЧЕТ

В

наш век развития междисциплинарности мы часто можем наблюдать, как различные отрасли науки делают фантастические успехи в областях, с которыми они раньше, казалось бы, никак не ассоциировались. Недавно прошла информация о том, что молодые математики, выпускники мехмата МГУ, работая в столь же молодой компании НТЦ «БиоКлиникум», решают вопросы, связанные с ранней диагностикой и лечением онкологических заболеваний. Мы встретились с руководителем этого направления **Владимиром Владимировичем Галатенко**.

— **С одной стороны онкология, с другой — математика. Где связь?**

— Связь достаточно прямая. Математика часто рассматривается как отдельная абстрактная наука, живущая своей жизнью и не имеющая никаких приложений, кроме стандартных задач для седьмого-восьмого классов. Но это не так. Математика и создавалась, и развивалась именно как прикладная наука, хотя, конечно, ее теоретические направления тоже очень интересны.

— **Но на практике найти им применение достаточно сложно.**

— Это сейчас. В перспективе они все будут востребованы. Вопрос в удаленности этой перспективы. Судьба теоретических направлений различна. Стандартные конические сечения — эллипсы, гиперболы, параболы, — которые были известны еще древним грекам, нашли серьезное, можно сказать определяющее, применение в работах по астрономии. Часть теоретических исследований не сразу входят в нашу жизнь. Тем не менее в XX и начале XXI в. развивались и продолжают развиваться множество теорий, в которых доля прикладной составляющей достаточно высока. Это связано с тем, что в последнее время копится огромный объем самых разнообразных данных, которые надо анализировать, а в голове одного человека — пусть даже суперпрофессионала — они не укладываются. Требуются специальные автоматизированные средства машинного анализа и обучения.

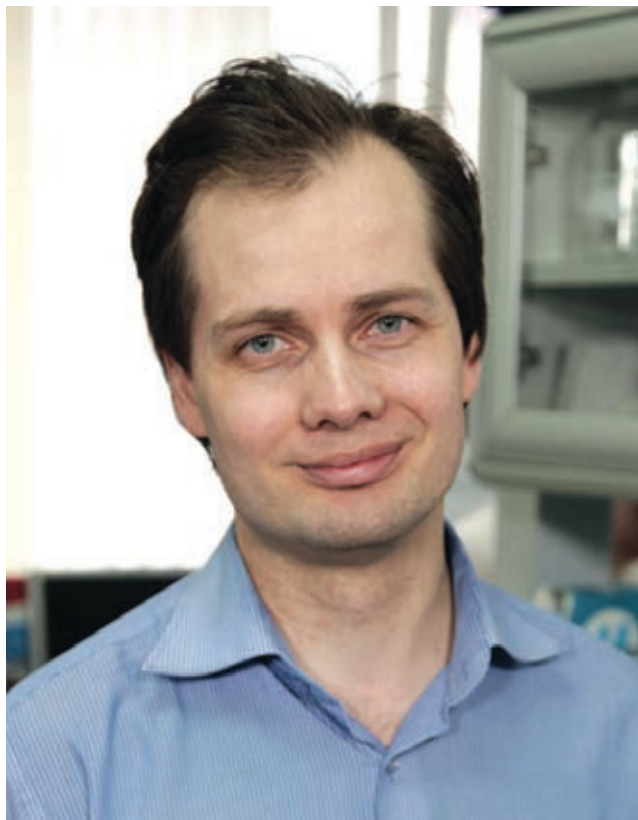
Биология, медицина — одни из областей, которые сравнительно недавно благодаря исследованию генома и транскриптома (т.е. полного набора транскриптов (молекул РНК) в данном организме или специфического набора, представленного в клетках определенного типа) начали давать огромный объем данных. Поэтому современным биологии и медицине без математики тяжело. А для математики это еще одно интересное приложение.

— **С геномом понятно, но каким образом с помощью математики можно просчитать онкологический диагноз?**

— С помощью анализа того же генома. В рамках онкологии использование современных методов очень разнообразно. Во-первых, речь идет о ранней диагностике, точнее, о выявлении предрасположенности к заболеванию. Вспомните Анджелину Джоли, которая приняла радикальные упреждающие меры, обнаружив мутацию в одном из генов, который статистически значимо связан с раком, — *BRCA1 (Breast Cancer Susceptibility Gene)*. Так что ранняя диагностика — это одно из приложений, основанное на возможности измерять множество дополнительных параметров: особенности генома, а также транскриптома. В этой области известная статистика и средства машинного обучения могут помочь найти признаки, характеристики, маркеры, которые люди могут не заметить просто потому, что им нужно просматривать десятки и десятки тысяч генов для разных образцов.

Второе приложение относится уже не к диагностике, а к подбору оптимальной схемы лечения. Это связано и с геномными, и с транскриптомными особенностями. Анализ генома позволяет понять, будет ли эффективным применение того или иного лекарственного средства или лучше от него отказаться, потому что преимущество сомнительно, а побочный эффект может оказаться очень сильным.

— **Сейчас врачи часто действуют методом подбора: попробовали одно лекарство, не подошло — пробуем другое. А если никак не получается — возьмем средство широкого действия, которое способно уничтожить опухоль вместе с ее носителем. Насколько я понимаю, вы впервые предлагаете систему высокоточного наведения, когда минимальной дозой определенного препарата можно достичь максимального эффекта в необходимой точке.**



Кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры математического анализа мехмата МГУ Владимир
Галатенко пытается алгеброй поверить гармонию природы

— Можно сказать и так. Только не впервые. Стандартно это уже применяется в мировой практике, в частности в США. Речь идет о транскриптомных тест-системах, информация от которых в случае рака молочной железы позволяет врачу решить, использовать химиотерапию или не использовать. С их подсказки онколог определяет, высок риск развития рецидива без химиотерапии или нет.

— Но если речь идет об индивидуальной геномной информации, значит мы идем к персонализированной медицине?

— Да, оценка геномной, транскриптомной информации, для анализа которой нужны современные методы, — это движение к персонализированной медицине, причем обеспечивающее решение всех подзадач: и ранней диагностики, и прогнозирования хода течения заболевания, и выбора оптимальной терапии. Хотя, конечно, говорить, что математические методы единолично позволят решить все проблемы, нельзя. Математика в данном случае — лишь один из инструментов, который не может использоваться в отрыве от фундаментальной и практической биологии, медицины. Это часть единой исследовательской программы.

О тонкостях командной игры

— В чем состоит ваш метод тестирования?

— На текущем этапе речь пока не идет о сформированном, клинически применяемом методе исследования — скорее о математическом, информационном подходе к отбору самых информативных с точки зрения решения той или иной задачи генов.

— Тогда как проходит такой «математический отбор»?

— Рассказать можно на примере уже упоминавшегося прогноза риска развития рецидива при раке молочной железы. Есть внешне идентичные пациентки с абсолютно одинаковыми параметрами: возраст, форма заболевания, стадия и т.д. Врачу для эффективного лечения нужно понять, каким будет риск развития рецидива при отсутствии химиотерапии. Если риск высокий, имеет смысл ввести химиотерапию в курс лечения, если риск низкий, то введение может быть нецелесообразным.

— Чтобы неизбежные и весьма мощные побочные эффекты не нанесли больший урон, чем сама болезнь?

— Совершенно верно. Ведь первая заповедь врача — не «Вылечи», а «Не навреди». Это лишь один из примеров, на котором удобно обсуждать задачу. В рамках простой ситуации достаточно найти один признак, один параметр, маркер, информация от которого более чем достаточно для принятия решения. Сверхинформативный ген, которого одного хватит, чтобы не смотреть на оставшиеся десятки тысяч генов. Но в рамках сложных задач одного параметра, одного признака недостаточно, а обсуждаемый вопрос, заключающийся в предсказании того, что произойдет с пациентом через пять, семь, десять лет, — один из сложных. Имеется стандартный способ, используемый для отбора нескольких признаков, на основе сочетания которых принимается решение. Именно этот способ применялся при разработке востребованных сейчас в мировой клинической практике тест-систем *Oncotype DX* и *MammaPrint*.

Суть заключается в следующем. На первом этапе ищутся самые индивидуально высокоинформативные гены, признаки-чемпионы. Потом эти признаки объединяются и строится некий математический аппарат — функционал, своеобразный «черный ящик», который выдает общее решение на основе полученной об этих генах информации. Подход, с одной стороны, абсолютно логичный, с другой стороны — небесспорный. Можно привести футбольную аналогию. У нас есть геном — набор всех футболистов в стране. Надо собрать сборную команду из 11 игроков. Мы посмотрели на игроков, которые индивидуально играют сильнее всего, абсолютно не думая о том, как они могут играть вместе, какое у каждого из них

амплуа, собрали этих самых индивидуально сильных игроков и заставили их играть вместе, не подумав о том, что, может быть, все они — нападающие. Понятно, что если мы эту команду разбавим хотя бы одним вратарем, пусть не самым сильным, то она начнет играть значительно лучше.

С учетом этого на одном из научно-исследовательских семинаров основатель и научный руководитель научно-технического центра «БиоКлиникум» профессор Александр Григорьевич Тоневский поставил перед нами в виде конкретной научной задачи вопрос о возможности эффективного использования генов с невысокой индивидуальной прогностической способностью.

— **Может быть, они обеспечат высокое качество командной игры?**

— На двух генах анализ получилось провести с помощью полного перебора.

— **Ну, это не сложно.**

— С идейной, содержательной точки зрения задача действительно несложная. Но тяжелая с точки зрения вычисления. Она потребовала привлечения суперкомпьютера. Были параллельно задействованы ресурсы МГУ — суперкомпьютеры «Ломоносов» и «Чебышев». Чтобы получить необходимые результаты, потребовались десятки тысяч процессорно-часов. Удивительная вещь: оказалось, что большинство пар, которые позволяют довольно достоверно предсказывать рецидив, состоят из генов, которые сами по себе очень низкоинформативны. Не нашлось ни одной пары, состоящей из двух высокоинформативных генов. Было порядка 10% пар, где один ген высокоинформативен, а второй индивидуально не очень значим, и 90% пар, где оба гена индивидуально незначимы.

Причем интересно, что статистически значимая достоверность классификации, которая обеспечивается такими парами, не различается.

— **То есть уровень командной игры не равен сумме индивидуальных качеств?**

— Да, командная составляющая важна не только в футболе, но и в работе генома.

Для больших множеств генов, даже троек, к сожалению, уже не получается применить полный перебор. Такой подход требует слишком значительных ресурсов — это уже миллионы процессорно-часов. На текущем этапе это невозможно даже с использованием суперкомпьютеров. Хотя, возможно, в ближайшей перспективе задача будет решена. Но все равно оказалось, что двойки могут еще

быть уточнены за счет добавления третьего, четвертого гена, и эти гены тоже чаще всего не высокоинформативны с индивидуальной точки зрения.

Выяснилось, что уже на уровне пар генов получается достичь качества прогнозирования риска рецидива, не уступающего, а может быть, даже опережающего известные и широко применяемые в мировой практике тест-системы *Oncotype DX* и *MammaPrint*.

Таким образом, на текущем этапе речь идет не о какой-то уже устоявшейся технологии прогнозирования риска или ранней диагностики, а именно о методике построения тест-систем, которая апробирована на озвученном примере, но может быть применена и к широкому классу других задач.

— **Но если уже есть опробованные методики, зачем нужна еще одна?**

— Наши преимущества — широкий спектр применения метода и высокая достоверность получаемых транскриптомных тест-систем. Однако пока все-таки рано говорить о готовом для клинического применения результате, а именно о теоретическом методе, хотя первые шаги по внедрению этой теории в клиническую практику уже делаются.

— **То есть это начало очень перспективного пути?**

— Мы в это верим и на это надеемся.

Шаг за шагом

— **Вы находитесь на самой передовой линии интеграции наук. Как к вашим работам относятся биологи, химики, генетики?**

— В рамках современных исследований граница между науками очень расплывчата — как



Естественные науки только тогда могут считаться настоящими, когда под них подводится математический аппарат

и граница между математикой и не математикой, между биологией и не биологией. Сейчас идет глобальная тенденция к созданию общих групп, которые непременно включают в себя представителей разных ветвей науки. То же самое и здесь: есть единые группы, которые включают в себя математиков, биологов, медиков. Это нормальная практика, от которой мир вряд ли откажется в течение ближайшего времени. Напротив, все говорит о том, что она будет еще больше развиваться. Раньше разные ветви науки пытались максимально обособиться и жить своей жизнью. Сейчас, как мне кажется, идет обратное движение: науки, которые еще совсем недавно казались очень далекими друг от друга, сегодня объединяются и работают вместе. Это взаимовыгодное, взаимопольное и взаимоприятное сотрудничество.

— **Предположим, ваша работа удачно прошла все стадии и вошла в общую практику. Что это значит для простого человека: увеличатся ли достоверность исследования, доступность, цена? К чему это все приведет и в какой срок?**

— Вопрос о сроках сложный. Медицина работает с живыми людьми, поэтому она вынуждена быть довольно консервативной наукой, не допуская в себя не до конца проверенные вещи. По оптимистичным прогнозам, в рамках российской медицины речь идет о сроках около пяти-семи лет. Но реально это могут быть и десять лет, и больше. Хотя транскриптомные системы уже апробированы и применяются в рамках клинической практики в разных странах. Про США мы уже говорили.

Ну а результат — это удешевление лечения в тяжелых случаях, в том числе и в случае онкологии. Естественно, экономический эффект — не единственный. Речь идет и об улучшении качества подбора лекарственных препаратов за счет меньшего числа ошибок, и о сокращении времени, необходимого для оптимального подбора препаратов. Уменьшаются также время, необходимое для принятия обоснованных врачебных решений, и продолжительность реабилитации. Наконец, как мы надеемся, внедрение такой технологии приведет если не к снижению количества заболевших, то по крайней мере к меньшему количеству нежелательных последствий онкологических и, возможно, других заболеваний. Как я уже сказал, речь идет о методе, который применим не только к онкологии.

— **В том же направлении, в области исследования неинформативных генов, где-нибудь еще проводятся такие работы?**

— Насколько нам известно, полных аналогов подобных работ нет. Есть работы, которые обсуждают неинформативные и низкоинформативные гены, но с точки зрения не тест-систем, а других приложений. Скажем, исследуются наличие корреляции, взаимосвязи экспрессии генов в одной



Микрочипы Affymetrix позволяют одновременно измерить экспрессию десятков тысяч генов (вверху); точность дозирования проб обеспечивают автоматические дозаторы (справа)

группе и отсутствие этой взаимосвязи в другой группе, с тем чтобы сделать какие-то фундаментальные выводы, например об отличии работы генома или транскриптома в клетке в случае наличия или отсутствия заболевания.

Но если речь идет именно про создание тест-систем, то нам такие целенаправленные исследования неизвестны.

— **В рамках перехода от теории к клинической практике: сотрудничаете ли вы с какими-либо медицинскими центрами?**

В России наш партнер — Онкологический институт им. П.А. Герцена, где апробируется созданная нами ранее тест-система для рака молочной железы — «ОнкоПро-М1», состоящая из 128 генов. Совместно с онкоцентром разработана и находится в ранней стадии апробации аналогичная система, которая предсказывает рецидив в случае рака простаты. Онкоцентр крайне заинтересован в объективном прогнозировании и оптимальном подборе схемы терапии. Они очень многое умеют, но при этом не останавливаются на достигнутом, а развиваются и дальше.

В рамках международного сотрудничества нашим стабильным партнером стала Университетская клиника Гамбург-Эппендорф, которая с удовольствием нам помогает, в частности с экспериментами на мышах, на ксенографтных моделях. Они активно участвуют и в теоретической, и в практической апробации наших исследований.

Загадки на ответы

— **Если ваша работа поможет ранней диагностике или выявлению предрасположенности исходя из индивидуального генома, может**



быть, стоит уже всем людям делать в принудительном порядке расшифровку генома и смотреть на возможные перспективы? Создавать такие генетические паспорта...

— На текущем этапе это точно рано.

— Дорого?

— Не только. Несмотря на то что проект по расшифровке генома считается законченным, геном продолжает оставаться скорее чем-то неизвестным. Загадок он дал больше, чем решений. Изначально считалось, что основная задача генома — кодировать белки, которые производят клетки, а все остальное, более 90% — это мусор. Сейчас ученые потихоньку приходят к пониманию, что все-таки это не так. Если грубо: 1% генома кодирует белки, несет уже понятную информацию. Но остальные тоже постепенно приобретают смысл. Сейчас, если оценивать приблизительно, то для нас 3%, может быть, 5% генома имеют понятный смысл. Но большая часть — по-прежнему нечто непонятное. И абсолютно неясно, когда же наука поймет, что там скрывается, и поймет ли она это вообще.

Говоря о тест-системах, в том числе об информативных парах, которыми мы занимаемся, можно заметить, что во многом это игра в ловлю черного

кота в темной комнате. Находятся признаки, которые дают возможность отвечать на те или иные вопросы достаточно достоверно, но детального понимания механизмов — как именно эти признаки связаны с результатом прогноза — нет. Аналог — система выключателей, которые где-то включают и выключают свет. Мы понимаем, что, играя с выключателями, можем как-то управлять лампочками, но все-таки это не приближает нас к пониманию природы электричества.

То же самое и здесь. До фундаментального понимания происходящего, очевидно, еще очень далеко. Пока мы находимся на первом этапе этого пути. Даже хотя формально проект по расшифровке генома считается законченным, это еще только самое начало.

— Вы уже более или менее отработали математический аппарат. Что еще предстоит сделать?

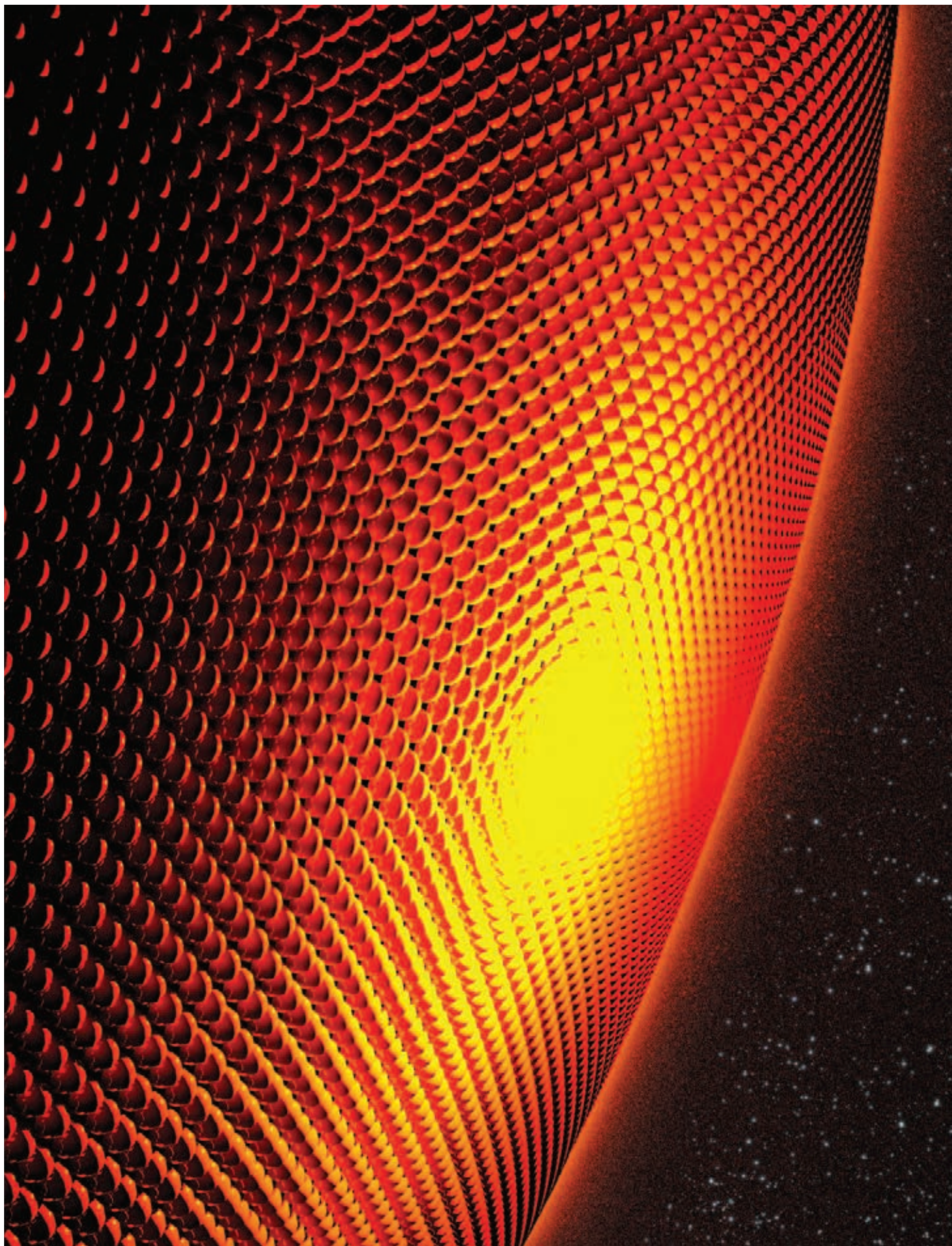
— Если говорить именно о клинических приложениях, уже определены малые сочетания генов, в частности пары, которые обладают наибольшей предсказательной способностью при прогнозировании риска рецидива для ER-положительной формы рака молочной железы. Уже проведена валидация, апробация на независимых наборах данных.

Следующий этап, если говорить о клиническом внедрении, — это уже прохождение формальных процедур, связанных с апробацией на реальных больных, без использования общедоступных банков, баз данных. Апробация эта не быстрая, потому что целевая функция — возможный рецидив через пять лет. В научно-техническом центре «БиоКлиникум» накоплена коллекция из нескольких сотен образцов. Но чтобы понять, хорошо или плохо работает система, нужно подождать как минимум пять лет, когда появится информация, для какого процента пациентов предсказание оказалось правильным.

— Пробы берутся из самого ракового образования? Или достаточно кусочка кожи человека?

— Речь идет о транскриптоме, т.е. об активности генов в конкретных клетках, поэтому в рамках этого исследования изучаются биопсии из самой опухоли. Если говорить о пациентах с уже диагностированным заболеванием, которым все равно делается операция по удалению метастазов, образец берется из того материала, который был удален. При других применениях транскриптомных тест-систем, связанных в частности с ранней диагностикой, зачастую используется и анализ транскриптома крови. В этом направлении мы тоже работаем. ■

Беседовал Валерий Чумаков



ОГНЕННАЯ ГРАНЬ МИРОВ

Черную дыру можно экранировать заслонкой из частиц, что противоречит как общей теории относительности, так и квантовой теории

Джозеф Полчински

Упасть в черную дыру — это не шутка. Как только физики осознали, что такие объекты действительно существуют, пришло понимание и их смертельной опасности. Однако считалось, что пересекающий точку невозврата космонавт не почувствует ничего особенного (*это верно только для сверхмассивных черных дыр, расположенных в центре галактик. — Примеч. пер.*). Согласно общей теории относительности Эйнштейна, в пространстве ничем не отмечена та граница, за которой у путешественника уже не будет ни шанса вернуться назад. Все, кто пересечет горизонт событий черной дыры, будут неотвратимо падать и падать к ее центру, в черную бездну.

ОБ АВТОРЕ

Джозеф Полчински (Joseph Polchinski) — профессор физики в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, сотрудник Института теоретической физики им. Кавли. Область интересов: теоретическая физика, в том числе вопросы дуальности и квантовой гравитации.



Однако недавно описываемая картина была пересмотрена в связи с новой информацией о квантово-механических свойствах черных дыр. Судя по всему, космонавт испытает совсем не те ощущения, которые предсказывались Альбертом Эйнштейном. Прежде чем кануть в черную дыру, наш герой ударится о преграду из частиц сверхвысоких энергий, что приведет к смертельному исходу. Более того, такой щит может оказаться границей пространства.

Три года назад четверо ученых из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре — автор этой статьи Джозеф Полчински, его коллега Дональд Марольф (Donald Marolf) и студенты Ахмед Альмхейри (Ahmed Almheiri) и Джеймс Салли (James Sully) — пришли к заключению о существовании вокруг черных дыр своеобразного «щита» из частиц. Изучая черные дыры, они использовали идеи теории струн и давнюю работу Стивена Хокинга 70-х гг. прошлого века. В то время Хокинг установил глубокие связи между квантовой теорией и теорией относительности, применяемыми в экстремальных условиях сильных гравитационных полей вблизи черной дыры. Согласно его подходу, как методы квантовой теории, так и представления Эйнштейна о пространстве-времени обладают недостатками. Битва за верховенство этих двух принципиально разных концепций продолжается до сих пор.

Точно так же, как когда-то идея Хокинга, новые рассуждения о существовании щита были приняты в штыки. Однако, несмотря на бурю недоверия, весомой альтернативы так и не было предложено. Если считать квантовую теорию достойной доверия, то из нее неизбежно следует существование такого барьера частиц, несмотря на то что тут же возникает множество теоретических трудностей.

Судя по всему, физикам придется отказаться от какого-то элемента привычной физической картины. Ученые продолжают спорить, от какого же именно. Хочется верить, что результатом жарких споров будет более полное понимание квантовой теории и теории гравитации, а в идеале — окончательное разрешение кажущихся противоречий между двумя основополагающими физическими концепциями.

Сингулярность

Общая теория относительности породила сам концепт таких объектов, как черные дыры, и дала представление об их свойствах. Появилось понятие горизонта событий как результата гравитационных эффектов в пространстве-времени. Согласно общей теории относительности, если собрать в некотором объеме достаточно большое количество вещества, то начнется неизбежный процесс коллапса, который будет продолжаться до того момента, пока вся масса не сожмется в точку. Процесс сжатия ничто не в силах остановить, и его результатом будет сингулярность — точка бесконечной плотности и бесконечной кривизны.

Космический путешественник, пересекший горизонт событий черной дыры, никогда не сможет преодолеть ее гравитационное притяжение и улететь назад. Он будет неотвратно двигаться к сингулярности. Даже лучи света не могут вырваться из-под горизонта событий черной дыры. В сингулярности нарушаются законы физики — это своего рода особая точка разрыва известных физических теорий. В отличие от сингулярности сферическая поверхность горизонта событий согласно принципу эквивалентности не обладает такими явно выраженными особенностями — космонавт, пересекающий ее, не увидит вокруг себя ничего

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- По утверждению Стивена Хокинга, черная дыра может излучать. Это обстоятельство стало первой трещиной в нашем понимании физики. Ушедшие от черной дыры частицы своим существованием утверждают, что внутри черной дыры информация уничтожается, что противоречит законам квантовой механики.
- Попытка решить дилемму с помощью аппарата теории струн кажется многообещающей, однако расчеты показывают, что черные дыры обладают еще более противоречивыми свойствами, чем считалось: черную дыру должен окружать барьер из частиц сверхвысоких энергий.
- Такой барьер может оказаться границей самого пространства. Работа над проблемой барьера может указать путь объединения квантовой механики и теории гравитации.

Изобилие парадоксов

РЕШАЯ ЗАГАДКИ ЧЕРНЫХ ДЫР

В 1974 г. Стивен Хокинг показал, что небольшое количество излучения способно уходить от черной дыры. Согласно законам квантовой механики, в вакууме могут рождаться пары частиц и античастиц и тут же аннигилировать. Хокинг обратил внимание, что когда такие пары появляются вблизи горизонта

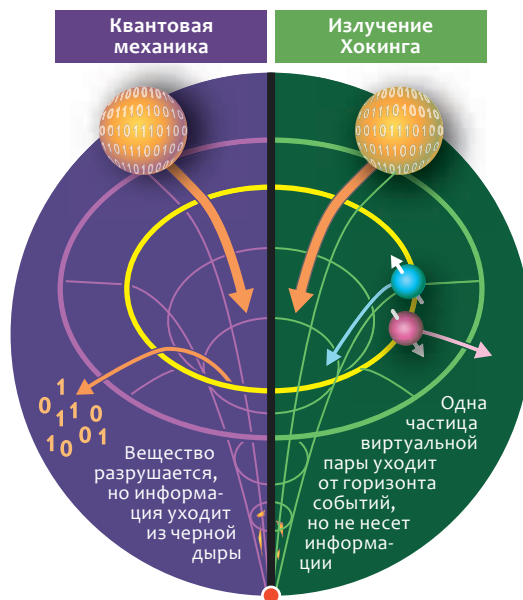
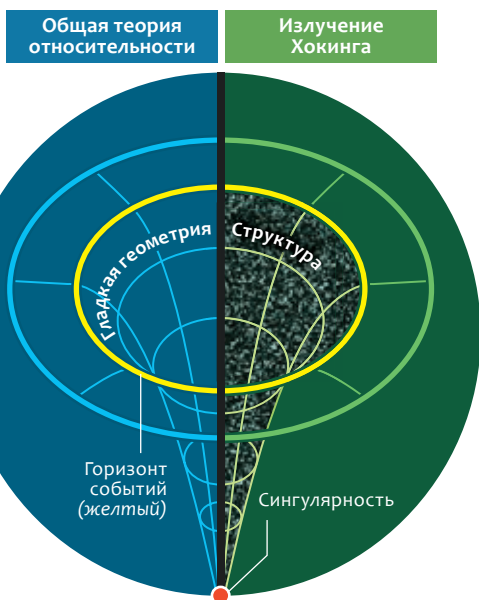
событий черной дыры, то одна частица пары может уйти от черной дыры, а другая, наоборот, упасть внутрь. Этот феномен, названный хокинговским излучением, породил ряд парадоксов касательно внутреннего устройства черных дыр.

Проблема энтропии

Спектр излучения Хокинга указывает на наличие у черной дыры температуры. Согласно традиционным представлениям, теплота возникает в результате движения атомов объекта. Факт, что черная дыра обладает температурой, должен означать, что этот объект каким-то образом структурирован. Согласно квантово-механическому представлению излучения Хокинга, возможность различных размещений структурных блоков черной дыры дает возможность говорить об ее энтропии, т.е. мере неупорядоченности. Однако в общей теории относительности наличие энтропии у черных дыр запрещено, поскольку в этой теории геометрия черной дыры гладкая, а сама дыра бесструктурна.

Информационный парадокс

Согласно стандартной картине квантовой механики, информация никогда не может быть уничтожена. Даже если вы сожжете лист бумаги с написанным на нем письмом, информация о содержании письма так или иначе будет закодирована и сохранится в пепле и дыме. Наличие излучения Хокинга, тем не менее, подразумевает, что черная дыра уничтожает информацию, содержащуюся в упавшем в нее веществе. Частицы, уходящие от горизонта событий, совершенно не зависят от свойств атомов, упавших в черную дыру. Хокинг предположил, что квантовую механику необходимо модифицировать.

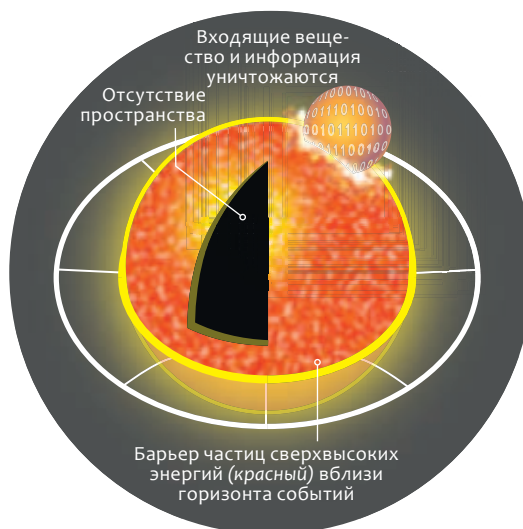


Более ранние гипотезы (не показаны)...

В попытках разрешить парадоксы, порождаемые наличием излучения Хокинга, предлагается много способов комбинировать общую теорию относительности и квантовую механику. Одну из возможностей дает теория струн, которая полагает частицы не точечными, а протяженными одномерными объектами (струнами), которые совершают различные колебательные движения в зависимости от типа частицы. Возможно, теория струн сможет разрешить информационный парадокс и проблему энтропии.

...приводят к концепции барьера

Математические решения, полученные в рамках теории струн, привели к любопытным результатам, имеющим физический смысл: черная дыра может быть окружена барьером, состоящим из частиц сверхвысоких энергий, который способен уничтожить все, что к нему приближается. Существование такого барьера приводит к кардинальным нарушениям законов физики на границе черной дыры и может служить границей пространства-времени.



необычного (однако приливные силы для черных дыр звездных масс будут очень велики при приближении к горизонту, а также во время его пересечения и позже. — Примеч. пер.). Любимое утверждение теоретиков — что если бы вся наша Солнечная система прямо сейчас падала в черную дыру, то мы не испытывали бы никаких особых ощущений.

Излучение черной дыры

Традиционное представление о черных дырах претерпело изменения в 1974 г., когда Стивен Хокинг сделал странные предсказания, применив квантовую теорию к этим объектам. Согласно квантовой теории, в вакууме постоянно рождаются и исчезают пары частиц и их партнеров-античастиц. Если такой процесс произойдет вблизи горизонта черной дыры, то пары могут разделиться. Одна частица пересечет горизонт и будет падать в сингулярность, а ее партнер уйдет от черной дыры, унося с собой часть ее массы. В принципе, вся масса черной дыры может быть исчерпана в результате таких квантовых процессов — так называемого «хокинговского испарения».

Для жизни существующих в природе черных дыр звездных масс процесс испарения не играет никакой роли, потому что прибавка массы за счет аккреции окружающего газа и пыли оказывается несравненно более существенной, чем квантовое излучение. Однако представляет интерес идеализированная постановка задачи, когда считается, что черная дыра полностью изолирована от окружающего вещества и что у наблюдателя достаточно времени наблюдать за ее испарением. Хокинг провел мысленный эксперимент и показал, что в нем и выявляются два кажущихся противоречия между общей теорией относительности и квантовой механикой.

Проблема энтропии. Размышляя об изолированной черной дыре, Хокинг отметил, что коль скоро существует процесс испарения, т.е. поток излучения от черной дыры, то, следовательно, черная дыра обладает температурой. Вообще говоря, температура порождается движением атомов объекта. Тепловой характер излучения Хокинга дает основания предположить, что черная дыра должна обладать микроскопической структурой, составленной из дискретного набора частей или «битов». Физик-теоретик Якоб Бекенштейн (Jacob D. Bekenstein) из Еврейского университета в Иерусалиме пришел к похожему выводу двумя годами раньше, поставив мысленный эксперимент по киданию разных вещей в черную дыру. В работах Хокинга и Бекенштейна была получена формула, определяющая число таких битов — величину, известную как энтропия черной дыры. Энтропия характеризует степень беспорядка системы. Энтропия некоторой системы растет, если растет число

состояний, доступных системе. Чем больше число «битов» в черной дыре, тем большее число различных размещений они могут иметь и тем выше будет энтропия черной дыры.

В противоположность такому дискретному подходу общая теория относительности описывает непрерывную гладкую геометрию пространства-времени вблизи черной дыры и утверждает, что любые две черные дыры, обладающие одинаковой массой, зарядом и спином, абсолютно идентичны. Это свойство точно отражено фразой Джона Уиллера (John Wheeler) из Принстонского университета: «Черная дыра не имеет волос». Таким образом, появляется противоречие: теория относительности утверждает, что «волос нет», а квантовая механика говорит о том, что черная дыра обладает большим количеством энтропии, что означает микроскопическую структуру, т.е. «волосы».

Информационный парадокс. Теоретически предсказанное в рамках квантовой теории хокинговское испарение бросает вызов самой этой теории. Дело в том, что, согласно вычислениям Хокинга, тип частиц, которые улетают от черной дыры, совершенно не зависит от свойств вещества, упавшего в черную дыру (скажем, при коллапсе массивной звезды). Например, мы можем послать какое-нибудь сообщение в черную дыру, но его никогда нельзя будет восстановить по излученным частицам. Раз пройдя под горизонт событий, информация больше никогда не сможет влиять на то, что позже выйдет из черной дыры с хокинговским излучением. Информация никогда не покинет черную дыру. В квантовой механике каждая система описывается так называемой волновой функцией, которая определяет вероятности нахождения системы в разных конкретных состояниях. В мысленном эксперименте Хокинга потеря информации означает, что не существует способа задать волновую функцию хокинговского излучения, основываясь на свойствах вещества, попадающего под горизонт. В квантовой механике запрещены процессы, приводящие к потере информации. Таким образом, вблизи черной дыры законы квантовой теории должны быть как-то изменены.

Кто-то может подумать: ну и что такого в том, что черная дыра разрушает информацию? Она ведь разрушает все, что попадает под горизонт событий. Но давайте сравним, что произойдет, если мы просто сожжем наше бумажное послание, а не бросим его в черную дыру. При сжигании сообщение, несомненно, будет уничтожено и его не удастся восстановить из дыма. Однако процесс горения описывается законами квантовой механики, применяемыми к атомам нашего послания. При квантовом описании дым обладает вполне определенной волновой функцией, которая зависит от нашего послания. Теоретически сообщение может быть

восстановлено по этой волновой функции. В случае черной дыры не существует определенной волновой функции для хокинговского излучения.

Основываясь на подобных рассуждениях, многие теоретики решили, что Хокинг ошибся, приняв кодирование информации за потерю информации. Кроме того, если информация может пропадать, то такое должно происходить не только в таких экзотических объектах, как черные дыры, но и в нашей обыденной жизни, поскольку в квантовой физике все, что может произойти, происходит. Если рассуждения Хокинга верны, то мы должны видеть им подтверждения в «повседневной» физике, возможно, в виде сильного нарушения закона сохранения энергии.

Однако аргумент Хокинга состоит из простого возражения. В отличие от горящей бумаги черная дыра обладает горизонтом событий, из-под которого информация не может выйти. Таким образом, нужно либо изменять квантовую механику для предотвращения потери информации, либо изменять теорию относительности, чтобы информация могла выходить из-под горизонта.

Существует и третья возможность. Черная дыра может испаряться не полностью, а только до некоторого реликтового остатка, содержащего всю информацию о поглощенном ранее веществе. По мнению автора, такой подход также содержит ряд трудностей — например, слишком маленький объект не может содержать слишком большой объем информации, это нарушает представление об энтропии Бекенштейна — Хокинга.

Черные дыры и браны

Частная проблема, возникающая при описании процесса испарения черных дыр, восходит к более общей проблеме несовместимости теории относительности и квантовой механики в экстремальных условиях, когда нужно применять одновременно и ту и другую теории. Эту общую проблему пытаются разрешить с помощью теории струн. Точечный объект квантовой теории заменяется микроскопической, но протяженной струной, что позволяет сделать ее совместимой с математическим аппаратом теории относительности. Однако простой заменой частиц струнами проблему испарения черных дыр сразу не решить.

Прорыв в понимании роли струн произошел в 1995 г. Оказалось, что теория струн не была самосогласована. Нужно было дополнить ее рассмотрением многомерных объектов, существующих в большем количестве измерений, нежели привычные нам три пространственных и одно временное. Такие объекты получили название *D*-браны. В черных дырах они могли бы представлять собой комочки пространств скрытых размерностей — настолько крошечных, что не поддавались бы никаким наблюдениям. В 1996 г. Эндрю Стремингер

(Andrew Strominger) и Кумрун Вафа (Cumrun Vafa) из Гарвардского университета показали, что струны и *D*-браны позволяют подсчитать точное число «битов» для задания энтропии черной дыры (по крайней мере, для шварцшильдовской черной дыры). Таким образом, загадка энтропии выглядела решенной.

Следующей проблемой, требующей разрешения, стал описанный выше информационный парадокс. В 1997 г. Хуан Малдасена (Juan Maldacena), в настоящее время работающий в Принстонском институте перспективных исследований в Нью-Джерси, придумал способ обойти этот парадокс — решение, иногда называемое дуальностью Малдасены. Вообще дуальность — это соответствие (часто очень неожиданное) между двумя процессами или теориями, которые первоначально выглядят абсолютно различными. Малдасена показал, что математическое описание теории, основанной на теории струн и объединяющей теорию относительности и квантовую механику (квантовая теория гравитации), эквивалентно математическому описанию обыкновенной квантовой теории при наличии некоторых специальных условий. В частности, квантовая физика черной дыры эквивалентна физике, описывающей газ горячих ядерных частиц. Такой подход означает, что пространство-время кардинально отличается от нашего о нем представления и представляет собой нечто вроде трехмерного голографического изображения, проецируемого с более фундаментальной двумерной сферы.

Использование дуальности Малдасены дало возможность описать квантовое поведение черных дыр. Если этот подход верен, то обычные законы квантового мира могут быть применены и к гравитации и никакой потери информации не произойдет. Косвенным следствием теории Малдасены будет то, что черные дыры смогут испаряться полностью, не оставляя реликтовых остатков, и что информация будет уходить из черной дыры вместе с хокинговским излучением.

Дуальность Малдасены, созданная им в попытках решить информационный парадокс черных дыр, на сегодняшний момент наиболее близка к тому, чтобы претендовать на унификацию теории относительности и квантовой теории. Доказательства пока нет, хотя существуют косвенные подтверждения, которых оказалось достаточно, чтобы в 2004 г. Хокинг объявил об изменении своих взглядов на проблему потери информации черной дырой и публично объявил о проигрыше спора с физиком Джоном Прескиллом (John Preskill) на конференции в Дублине.

Среди физиков распространено мнение, что ни один наблюдатель не увидит никаких нарушений теории относительности или других теорий вблизи черной дыры, живущей по правилам

Малдасены, несмотря на то что его теория не дает ясных объяснений, как именно информация может выходить из-под горизонта событий.

Около 20 лет назад Леонард Сасскинд (Leonard Susskind) из Стэнфордского университета и Герард 'т Хоофт (Gerard 't Hooft) из Утрехтского университета в Нидерландах предложили решение информационного парадокса с помощью нового понятия, названного комплементарностью (или дополнителем) черных дыр. Суть состояла в рассмотрении двух наблюдателей. Один наблюдатель попадает в черную дыру и получает доступ к находящейся внутри информации, проникшей вместе с ним под горизонт. Другой наблюдатель, оставшийся вне черной дыры, видит эту же информацию снаружи (*при ее бесконечно замедленном — с его точки зрения — приближении к горизонту событий.* — Примеч. пер.). Противоречия здесь нет, поскольку наблюдатели никак не сообщаются друг с другом.

Если вокруг черной дыры действительно существует барьер, то все-таки что это такое? Некоторые полагают, что это просто граница известного нам пространства

Барьер

Теория дуальности Малдасены и принцип комплементарности для черных дыр, казалось бы, должны были разрешить все имеющиеся трудности с описанием этих объектов, однако все-таки остаются пробелы в понимании поведения черных дыр в условиях значимости как гравитационных, так и квантовых эффектов. Три года назад автор с сотрудниками попытались создать математическую модель для проверки работоспособности этих двух принципов, основываясь на идеях физиков Самира Матуры (Samir D. Mathur) из Университета Огайо и Стивена Джиддингса (Steven Giddings) из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре (используя также аргументы Сэмюэла Браунштейна (Samuel Braunstein) из Йоркского университета в Великобритании). Создать модель не получилось — по всей видимости, проблемы оказались глубже, чем просто недочеты математических выкладок, и противоречия остались.

Противоречия проявляют себя при рассмотрении феномена квантового перепутывания — наименее ясной и наиболее далекой от повседневного опыта части квантовой теории, в которой подводят интуитивные представления ученых о мироустройстве. Представим себе частицы в виде двух костяшек домино. Пусть мы априори знаем, что

сумма на обеих костяшках неизменна и равна, например, шести. Тогда если на первой костяшке выпала двойка, то на второй обязательно должна быть четверка. Эти костяшки показывают поведение двух частиц, находящихся в отношении квантового перепутывания, а фиксированная сумма на обеих костяшках в случае частиц играет роль известного суммарного момента импульса двух частиц. Когда измеряется какое-то свойство одной из частиц (например, момент импульса), то эти измерения мгновенно определяют свойства и ее партнера — вне зависимости от расстояния, на которое разнесены частицы-партнеры. Кроме того, перепутывания моногамны, т.е. существуют всего две частицы-партнера, запутанные друг с другом.

Рассмотрим теперь фотон, испущенный в процессе хокинговского испарения. Назовем его для определенности B -фотон, и пусть к моменту его излучения черная дыра успела испариться по крайней мере наполовину. Механизм Хокинга подраз-

умекает, что фотон B — одна частица пары. Назовем ее партнера, попадающего в черную дыру, частицей A . Частицы A и B находятся в состоянии квантового перепутывания. Кроме того, информация, которая первоначально попала в черную дыру, закодирована во всех частицах хокинговского излучения. Если

информация не исчезает и выходящий из-под горизонта фотон B обладает определенным квантовым состоянием, то этот фотон обязательно должен быть связан квантовым перепутыванием с другим, уже ушедшим от черной дыры, фотоном C , — в противном случае информационный поток на выходе не будет сохраняться. Но тогда получается, что в состоянии перепутывания находятся не две, как это предписано свойством моногамности, а уже три частицы, A , B и C .

Желая сохранить свойство моногамности и одновременно с этим перепутанную пару B и C , нужно пожертвовать парой A и B , отказаться от наличия между ними связи. Напомним, что фотоны хокинговского излучения A и B — это пара «частица — античастица», рожденная вблизи горизонта событий черной дыры. В квантовой теории цена разрыва связи между такими частицами определяется энергией (аналогично тому, как определенная энергия требуется для разрушения химических связей). Возможность разрушения состояний перепутывания для всех частиц хокинговского излучения означает наличие стены частиц сверхвысоких энергий вблизи горизонта событий черной дыры. Эту стену можно назвать своеобразным барьером, с которым неизбежно — и очень драматически — встретится летящий в черную дыру

космонавт. Картина свободного и незаметного прохода под горизонт существенно изменяется.

Возможное существование больших отклонений от общей теории относительности (например, наличие такой необычной энергетической стены, появление которой никак не мотивировано геометрией черной дыры) вызывает беспокойство. В теории рассматриваемый барьер возникает из довольно простых рассуждений, основанных на предположении об отсутствии информационного парадокса. Получается, что априори постулируя, что информация не должна исчезать, можно прийти не только к тонким эффектам взаимодополняемости, но и к прямому нарушению теории относительности. Такие рассуждения вызывают недоумение и скептицизм научной общественности.

Остается сделать вывод, что либо такие экзотические энергетические стены действительно существуют в природе, либо все-таки необходимо пересмотреть некоторые основополагающие утверждения квантовой механики. Информация не может быть уничтожена, но, возможно, сама квантовая механика допускает какие-то видоизменения. К сожалению, даже непосредственные наблюдения реальной черной дыры ничего не скажут нам о существовании барьера. Дело в том, что любое излучение такого барьера должно быть очень сильно ослаблено гравитационным полем черной дыры, следовательно, его практически невозможно зарегистрировать.

Конец пространства

Если вокруг черной дыры действительно существует барьер, то все-таки что это такое? Некоторые полагают, что это просто граница известного нам пространства. Возможно, внутри черной дыры вообще не возникает условий, нужных для возникновения пространства. Быть может, оно не может сформироваться потому, что квантовая память внутри черной дыры переполнена. Если внутри нет пространства, то оно заканчивается где-то вблизи горизонта и падающий под горизонт космонавт превратится в море квантовых битов.

Чтобы избежать подобных странных сценариев, физики пытались уйти от вывода о существовании барьера. Одна из возможностей основана на следующих рассуждениях. Поскольку испущенная в процессе хокинговского излучения частица *B* должна образовывать перепутанную пару как с частицей *A*, так и частицей *C*, то частица *A* должна быть частью частицы *C*. Фотон под горизонтом содержит ту же информацию, что закодирована в ранее испущенном излучении, несмотря на то что они находятся в разных местах. Это утверждение похоже на первоначальную идею комплементарности черной дыры, обсужденную выше, но для ее конкретной реализации, похоже, снова пришлось бы прибегнуть к модификации квантовой

механики. Другая, более радикальная концепция была предложена Малдасеной и Сасскиндом: каждая пара перепутанных частиц связана с микроскопической кротовой норой, что позволяет построить макрообъект — внутреннее пространство черной дыры — как систему частиц, связанных состоянием перепутанности.

Хокинг сделал предположение, что общая теория относительности непротиворечиво описывает черные дыры, а вот законы квантовой механики в таких объектах нарушаются. Малдасена выдвинул гипотезу, что квантовая механика не изменяется, но пространство-время обладает специальным свойством голографии. Возможно, истинное положение вещей находится где-то посередине. Было предложено много других решений, большая часть из которых отказываются от того или иного базового принципа, и не выработано единого мнения решения проблемы. Глобальный вопрос остается: что означает наличие барьера для реальных черных дыр, например подобных черной дыре в центре нашей Галактики? На основе существующих разрозненных гипотез слишком рано утверждать что-то определенное.

Хотя решения задачи не предвидится в скором будущем, исследователи все равно рады — тому, что обнаружено новое противоречие между двумя фундаментальными физическими теориями. Невозможность сказать однозначно, существует или нет барьер вокруг черной дыры, дает ограничения на современную формулировку квантовой гравитации и позволяет дорабатывать ее нужным образом, чтобы она стала рабочей теорией, способной на предсказания реальных наблюдательных и экспериментальных данных. Решая проблему барьера, можно прийти к более глубокому пониманию природы пространства-времени и физических принципов, лежащих в основе законов природы, и в конечном счете выяснить, как можно совместить квантовую теорию и теорию гравитации. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Бекенштейн Я. Информация в голографической Вселенной // ВМН, № 11, 2003.
- Малдасена Х. Иллюзия гравитации // ВМН, № 2, 2006.
- The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics. Leonard Susskind. Little, Brown, 2008.
- Black Holes: Complementarity or Firewalls? Ahmed Almheiri, Donald Marolf, Joseph Polchinski and James Sully in Journal of High Energy Physics, Vol. 2013, No. 2, Article No. 62; February 2013. Preprint available at <http://arxiv.org/abs/arXiv:1207.3123>

*Разработки означают
возможность диагностики
и лечения ряда серьезных
заболеваний*



ИЗ НА СТРАЖЕ ЗДОРОВЬЯ

ТОПЫ

Россия была пионером и остается одним из мировых лидеров в производстве сырьевых медицинских изотопов. Такие разработки означают возможность диагностики и лечения ряда серьезных заболеваний — онкологических, кардиологических, неврологических. Однако, имея мощный фундаментальный задел, мы почти не развивали производство медицинской аппаратуры, что сейчас привело к почти кризисной ситуации. Медики и физики решили объединиться для решения этих проблем. Они считают, что у нас есть все основания для оптимизма.

О

том, каким образом можно решить вопросы обеспечения наших пациентов высококвалифицированной медицинской помощью и какие проблемы ждут нас на этом пути, мы беседуем с **Андреем Дмитриевичем**

Каприным, директором Национального медицинского исследовательского радиологического центра, членом-корреспондентом РАН, и **Валентином Пантелеймоновичем Смирновым**, академиком РАН, заместителем генерального директора управляющей компании «Наука и инновации» госкорпорации «Росатом», научным руководителем электрофизического блока.



Андрей Дмитриевич Каприн — директор Национального медицинского исследовательского радиологического центра, член-корреспондент РАН

— Ведь это не случайно — то, что вы сидите сегодня рядом? И вообще вы, видимо, по жизни идете теперь рядом?

В.С.: «Росатом» все знают: это атомная энергетика, ядерное оружие. Но создание исключительно сложных и мощных объектов атомной энергетики привело к тому, что наши возможности чрезвычайно расширились и мы смогли создавать новое оборудование для применения в различных областях науки и техники, в частности в медицине. Мы занимались развитием ускорителей, которые нашли свое место в терапии, создавали и создаем изотопы, которые получают применение в радиофармпрепаратах и в установках для брахитерапии, диагностике различных заболеваний — от неврологии до онкологии.

А.К.: Мы очень рады этому, поскольку в теперешних условиях не можем быть заказчиками импортной аппаратуры, необходимой для диагностики и лечения. За рубежом сейчас продолжается развитие этих методик, хотя именно наши физики стали родоначальниками многих направлений в ядерной медицине и высокоэнергетической радиологии.

В 1990-е гг. у нас в стране печальной тенденцией стало прекращение финансирования таких проектов, и больше всего пострадало как раз это направление. После перестройки мы стали покупать необходимую аппаратуру за рубежом, где в этом отношении продвинулись довольно далеко. Но сейчас все наши надежды связаны как раз с возобновлением таких прикладных исследований в России. Это радионуклиды, радиофармпрепараты, различные методики в терапии, которые когда-то зародились еще в Советском Союзе. Это различные виды нейтронозахватной терапии, терапия быстрыми нейтронами и т.д. Как говорится, нет лучшего нового, чем хорошо забытое старое. Уверен, что наши физики способны создавать оборудование ничуть не хуже, а может быть в чем-то лучше западного. Тем более что другого выхода у нас просто нет.

В.С.: Андрей Дмитриевич коснулся исключительно важного аспекта нашего развития на современном этапе. Мы можем делать «железо», пучки, излучатели нейтронов, рентгеновские аппараты и т.д., но мы должны делать это по заданию медиков. Только они могут определить, что нужно в первую очередь, и тогда мы решим, как построить технические и физические системы, чтобы это удовлетворяло медицинским целям и потребностям пациентов.

А.К.: Мы, конечно, это понимаем. Вот поэтому и создаются междисциплинарные комиссии, рабочие группы. По распоряжению министра здравоохранения В.И. Скворцовой сформирован научный совет по ядерной медицине, в который входят представители «Росатома», директора крупных институтов, в том числе Объединенного института ядерных исследований в Дубне, Физико-энергетический институт... Тут важно заранее провести аудит ситуации и подготовить ответы, где конкретно необходимы медицинские центры с соответствующей аппаратурой.

— Правильно ли я понимаю, что все это только в перспективных планах?

В.С.: Нет, неправильно. Есть оборудование, которое так или иначе было у нас развито в прошлом и развивается сейчас. Оно всегда находило свое клиническое применение. Хотел бы прежде всего упомянуть пионерскую разработку по брахитерапии — установку «Агат». Наш институт НИИЭФА выпустил более тысячи таких аппаратов. Сейчас аппарат модернизирован, он называется «Агат Smart» и, надеюсь, будет очень востребован в здравоохранении.

А.К.: Действительно, «Агат» — прекрасный, очень надежный аппарат, который много раз модернизировался. Принцип его работы таков: из специальной колонки подается изотоп, который позволяет воздействовать на опухоль локально. Это может быть один, два или три сеанса в зависимости

от степени выраженности опухолевого процесса и ряда других факторов. Кстати, аналоги «Агата», работающие на иридии, активно создавались за рубежом, и сейчас порядка 100 таких приборов стоят в ряде клиник Российской Федерации. Они неплохо работают, но проблема в том, что эти колонки надо постоянно заряжать, а это очень дорого. Мы надеемся, что одним из направлений совместной с физиками-ядерщиками работы станет изготовление иридия, тогда появится возможность заряжать такие аппараты.

В.С.: Это возможно, и у нас существует большая программа по развитию изотопов медицинского назначения для брахитерапии и создания радиофармпрепаратов. Более того, часть наших изотопов мы экспортируем за рубеж. У нас по крайней мере четыре института гражданского сектора «Росатома» вовлечены в изготовление изотопов медицинского назначения. В настоящее время у нас, физиков, идет разработка новых систем брахитерапии, которые основаны на использовании не изотопов, а миниатюрных рентгеновских источников, работающих от сети. Это несравненно более удобно. Во-первых, такие аппараты безопасны для персонала, во-вторых, они не разряжаются. Проведенный нами анализ показывает, что мы можем сделать аппарат с параметрами лучше, чем зарубежные.

**Новые системы
брахитерапии основаны
на использовании
не изотопов,
а миниатюрных
рентгеновских источников,
работающих от сети.
Во-первых, такие
аппараты безопасны для
персонала, во-вторых, они
не разряжаются**



Валентин Пантелеймонович Смирнов — академик РАН, заместитель генерального директора управляющей компании «Наука и инновации» госкорпорации «Росатом», научный руководитель электрофизического блока

— Если мы — один из мировых лидеров по производству медицинских сырьевых изотопов, почему только сейчас, когда против нас приняты санкции, наконец поняли, что можем не хуже других, а может быть даже лучше?

В.С.: Ну, это не совсем правильно. Мы и раньше занимались такими исследованиями, и санкции на изотопы практически никак не повлияли.

— Но ведь ядерная медицина в нашей стране очень мало развита, разве нет?

А.К.: По количеству работ, которые были сделаны нашими физиками, мы всегда оставались лидерами. Но вот что касается внедрения — да, должен согласиться, с этим слабовато. Аппараты, конечно, были, но их модернизация, может быть, запаздывала. Почему? Система обеспечения медприборами и препаратами так была выстроена, что нам покупали все необходимое за рубежом и это нас устраивало.

В.С.: Позвольте мне заступиться за наших медицинских специалистов. Радиологи, работающие в наших центрах, — это ученые мирового уровня. С имеющимся оборудованием они делают, по моему, максимум возможного.

А.К.: Но все-таки радиолог должен быть хорошо вооружен. У радиологов есть такой козырь: они говорят, что могут на любом аппарате сделать без осложнений примерно такую же прецизионную терапию. Это, конечно, хорошо, но двигаться-то



Роботизированная радиохирургическая система для лечения доброкачественных и злокачественных опухолей

все равно надо. Мало быть специалистами в импортном оборудовании — надо создавать и осваивать свое. Иначе говоря, у нас есть свой колоссальный задел, мы всегда делали изотопы, мы серьезно продвинулись в борьбе с обезболиванием, особенно костных метастазов, но у нас не было протонных центров. И это упущение надо ликвидировать.

В.С.: Это сейчас активно делается. Помимо стандартного оборудования, которое имеется на рынке, есть и некоторые совершенно новые подходы, которые мы совместно с медиками сейчас изучаем. Хотя и имеющееся оборудование мы хотим воспроизвести в усовершенствованном виде.

— **Есть ли у вас ощущение, что мы можем догнать и перегнать Запад в плане развития ядерной медицины?**

В.С.: Надо быть реалистами. Пока у нас серьезное технологическое отставание, которое мы можем преодолеть, но требуются время и поддержка. И медики, и физики, к которым я отношусь, неоднократно демонстрировали возможность решения очень сложных задач. В ряде направлений мы впереди аналогичных исследований, идущих

в мире. Поэтому я оптимист. Главное, чтобы в обществе созрело понимание того, что без развития науки в широком смысле этого слова мы не можем двигаться вперед. И такое понимание, думаю, зреет.

А.К.: Зреет. У нас был ужасный провал с кадрами, не было медицинских физиков — сейчас их готовят, в том числе и в регионах. Раньше мы с трудом набирали двух-трех ординаторов, а сейчас молодежь пошла в онкологию. Хотя это тяжелая ноша — такая специальность. Но идут! Хорошие ребята, толковые. Вы заметили, что и в обществе произошли изменения? Многие уже не считают зарубежные клиники панацеей. А это значит, что мы должны конкурировать с лучшими мировыми центрами. Быть не хуже. Или лучше. Правда, есть серьезные проблемы. Одна из них — отсутствие собственных химиотерапевтических разработок. У нас, собственно, своей молекулы нет, мы препарат завозим. Точнее, завозили.

— **С какими же химиопрепаратами вы сейчас работаете?**

А.К.: Ну, были деньги, и мы, слава богу, купили на два года вперед.

— **Есть основания надеяться, что через два года будет что-то свое?**

А.К.: Вы видите, как быстро развивается мир? Буквально года три назад мы еще разговаривали по мобильному телефону, который с трудом умещался в руке. Такой же прогресс может произойти и в разработках радиофармпрепаратов. Надеюсь на это.

В.С.: А вы посетите НИИТФА, посмотрите там на циклотрон производства НИИЭФА, модули синтеза, ПЭТ-центр, который готовится к запуску. Короче говоря, работа идет. И вот что еще важно: нам



необходимо добиваться осознания каждым человеком того, что он делает огромное дело — для конкретных людей, для пациентов, а в конечном счете для самого себя.

А.К.: Ну а мы, медики, должны добиться того, чтобы каждый человек понимал: ему надо обследоваться заранее. Если не запускать болезнь, можно в большем количестве случаев обойтись без химиотерапии, радикальными методами либо методами ядерной медицины. Ведь что такое химиотерапия? Это очень тяжелые больные и дорогие лекарства. Есть, например, таргетные (от английского *target* — «мишень») препараты, которые стоят 250–300 тыс. руб., и это еще до подорожания. Представляете себе такую цену? Далекое не каждому это по карману. А они нужны пожизненно

В обществе произошли изменения. Многие уже не считают зарубежные клиники панацеей. А это значит, что мы должны конкурировать с лучшими мировыми центрами. Правда, есть серьезные проблемы, одна из которых заключается в отсутствии собственных химиотерапевтических разработок

и каждый день. Кто отдаст такой фармацевтический рынок? Никто, конечно. Компании все сделают, чтобы засекретить эту молекулу. Поэтому наша ставка — на раннее обнаружение, регулярное и своевременное обследование. Это, я бы сказал, должно стать патриотическим движением. Без этого никак.

— В наших поликлиниках каждому пациенту дают направление на ЭКГ и гонят на флюорографию раз в полгода. А вот ранняя диагностика или профилактика онкологии у нас отсутствует. Что должен знать каждый человек?

А.К.: Во-первых, если у человека что-то не в порядке с родинками — зудят, начали расти, то не надо прикладывать лопухи, надо сходить к врачу. Это же просто невежество! Что вы смеетесь? Если вам показать фотографии, будет не до смеха. Или когда молочная железа не вмещается в чашку бюстгалтера, можете такое представить? В четыре раза больше другой железы! Конечно, в этом вина не только пациента, но и врачей общей практики, которые забыли, что такое осмотр пациента. Онкологическая настороженность — это наша общая врачебная задача, и никто ответственности с нас не снимет.

— Что еще должно настораживать?

А.К.: Должно быть понимание последствий наличия скрытой крови в кале, например. Есть очень легкий тест, позволяющий понять, нужно ли человеку спешить к онкологу. Вообще после 50 лет во всех развитых странах мужчина каждые три года идет на гастро- и колоноскопию — это если все нормально, а если есть проблемы, то значительно чаще.

— Знаю, что в некоторых странах, если у человека обнаружили рак и он до этого не обследовался, ему не оплачивают лечение.

А.К.: Да, ему приходит открытка, как на техосмотр. Женщине в 39 лет — обследование шейки матки и молочной железы. Если не явилась, а потом заболела — полный курс лечения за ее счет. Мужчина сдает анализ на простатоспецифический антиген (ПСА). Не сдал в 50 лет — полный курс лечения за его счет. И это правильно.

В.С.: В свое время я был страшно удивлен, прочитав статистические данные о влиянии дозы облучения на продолжительность жизни человека. Это японские данные. Исследовалась группа из 300 тыс. человек, подвергшихся облучению во время бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Оказывается, с полученной дозой продолжительность жизни растет и даже при очень высоких дозах выходит на среднестатистическую.

— Потому что они следят за своим здоровьем?

В.С.: Правильно! Все эти люди проходили систематическое обследование, вот и весь секрет. ■

Беседовала Наталья Лескова



ИДЕИ, МЕНЯЮЩИЕ МИР

очевидное
невероятное



ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

РОССИЯ 24



Школа Куско. Неизвестный художник (ок. 1690–1695)
Святой Фома Аквинский

Судан

Йемен

Индия

Кот д'Ивуар

ЧТО НЕСЕТ Восточный ветер?

Водяное колесо, ветряная мельница, экспериментальная химия и даже личная гигиена... Арабский Восток в прошлом обогатил западную цивилизацию многими техническими изобретениями и базой для развития естественных и гуманитарных наук. В нынешнем общественном сознании этот регион связан прежде всего с экспортом энергоносителей и социальными угрозами — с нефтью и исламистскими радикальными движениями.

*Объективна ли такая картина? В очередном выпуске нашей программы «Идеи, меняющие мир» (производство телекомпании «Очевидное — невероятное» по заказу телеканала «Россия 24») автор и ведущая **Эвелина Закамская** обратилась к ведущему российскому специалисту по региону, директору Института востоковедения РАН **Виталию Вячеславовичу Наумкину** с вопросом: может ли современный арабский Восток подарить человечеству идеи, которые станут всеобщими ценностями в XXI в.?*



Когда готовился этот выпуск, еще не прозвучали выстрелы в редакции парижского сатирического журнала *Charlie Hebdo*. Но так совпало, что премьера программы состоялась именно 7 января 2015 г., в день событий, которые первые лица крупнейших западных держав назвали «атакой на свободу слова». Напомним, что история начала развиваться после публикаций в 2005 г. в Дании карикатуры на пророка Мухаммеда с чалмой в виде бомбы. Разгорающийся уже в течение многих лет конфликт ученые-обществоведы интерпретируют как столкновение ценностей, а некоторые политологи еще с 1990-х гг. говорят о «столкновении цивилизаций». Действительно ли все так безнадежно и конфликт между секулярным Западом и исламским Востоком неразрешим из-за расхождения на уровне базовых идей?

Толерантное прошлое

Несмотря на острый политический контекст, беседа Эвелины Закамской с авторитетным российским ученым-исламоведом, членом-корреспондентом РАН Виталием Наумкиным практически не касалась текущей новостной повестки. Ведущую «Идей» больше интересовали истоки нынешних драматических событий, тенденции и прогнозы, которые делают востоковедение как наука, а ее собеседник — как один из ведущих представителей этой дисциплины.

Сразу скажем, что детальную картину возможного будущего мироустройства Виталий Вячеславович телезрителям не нарисовал. По его словам, большинство прогнозов, сделанных известными обществоведами относительно арабского мира за последние четверть века, так и не сбылись. «Мой друг Оливье Руа, замечательный французский специалист-востоковед, еще несколько лет назад писал о том, что политическому исламу будет крышка... И вот, пожалуйста: сегодня ИГИЛ фактически занял место “Аль-Каиды”. Может быть, завтра еще что-то подобное возникнет, мы этого не знаем. Но, безусловно, тенденция к созданию экстремистских, апеллирующих к религии движений будет иметь устойчивый характер и будет угрожать всем нам».

Профессор Наумкин в своих научных статьях неоднократно высказывался против того, чтобы считать драматические события последних полутора десятилетий цивилизационным конфликтом, и даже называл подобную трактовку «нелепой». В этом с ним солидарны многие коллеги по обе стороны океана и в Персидском заливе. Напомним, что концепцию «столкновения» достаточно давно сформулировал англо-американский востоковед Бернард Льюис, а в 1990-х гг. развил политолог Сэмюэл Хантингтон в своей знаменитой книге «Столкновение цивилизаций и преобразование мирового порядка». Сейчас это яркое образное выражение уже настолько прижилось в СМИ, что стоящая за термином крайняя идея воспринимается многими как сам собой разумеющийся факт. Мы разные, и с этим ничего не поделаешь.

Между тем кроме теории о фатальной неприимости существуют еще две альтернативные трактовки глобальных процессов, которые утверждают: взаимовлияние по факту происходит, и потому конструктивное взаимодействие тоже возможно. Это идеи «гибридизации» (постоянного смешивания культурных различий) и «гомогенизации» (взаимное поглощение частей, выравнивание). Многочисленные доказательства того, что никаких жестко обособленных цивилизаций нет, можно видеть и в современной общественной практике, и в средневековой истории. В кадре «Идей» наш собеседник напомнил телезрителям об очевидных примерах: «В наших языках очень

много научных терминов, которые происходят из арабского. Алгебра — это арабское “аль-джабр”; арабская медицина, философия, достижения античности... Арабы фактически стали мостиком передачи нам греческих культуры и науки, которые они вобрали, развили и подарили Европе через свои переводы».

Если сейчас Запад стал для стран арабского мира донором технологий, то во времена крестовых походов процесс заимствования шел в обратном направлении. Благодаря жителям арабского Востока жизнь европейских рыцарей стала комфортнее и удобнее. Здесь они восприняли идею использовать горячую воду для мытья и начали часто менять белье. Были заимствованы геральдические знаки, ковры, музыкальные и хирургические инструменты, освоены производство изысканных тканей и дрессировка почтовых голубей — говоря сегодняшним языком, внедрена передовая технология коммуникации. Науками и предметами материальной культуры вклад арабов в развитие западной цивилизации не исчерпывался. Одним из главных приобретений были духовные ценности, которые проникали в Западную Европу уже не с обозами крестоносцев, а постепенно импортировались через Испанию и Византию.

Свобода мысли и толерантность, обладание которыми сегодня по умолчанию приписывается Западу и в которых отказывается Востоку, существовали в Багдадском халифате при Аббасидах задолго до того, как эти ценности утвердились на европейском континенте. Преследуемые в христианской Испании евреи находили убежище в Северной Африке, а жители Византии в смысле исповедания веры чувствовали себя гораздо спокойнее у соседей в халифате, нежели в католическом Риме. Интеллектуалы-мусульмане того времени, арабские и иранские поэты и философы свободно дискутировали на темы, за публичное обсуждение которых католическая инквизиция сжигала на костре. «Многие исламские богословы и философы были воспитаны на греческой традиции. Перипатетики, последователи аристотелевской философской школы спорили по очень острым вопросам, например как мир мог быть создан из ничего», — рассказывает Виталий Наумкин. Знание и веру можно сочетать, они друг другу не противоречат — именно эта идея, пришедшая с Востока, изменила западный мир в далеком прошлом.

Можно вспомнить и пикантные исторические факты. Если сегодня в глазах фундаменталистов Запад предстает развращенным и аморальным, то еще не так давно все было ровно наоборот. Степень сексуальной свободы, допускавшаяся в XIX в. в мусульманском Египте, шокировала путешественников-пуритан, приезжавших сюда из викторианской Англии.

Сила предубеждения

Мусульманский мир и арабский Восток — частично пересекающиеся понятия. Под вторым термином подразумевают всего 18 стран Северной Африки и Ближнего Востока, в которых проживает лишь пятая часть всех последователей ислама. Из-за высокой концентрации происходящих здесь политических событий, нахождения главных мусульманских святынь и циркуляции радикальных идей массовое сознание часто связывает мусульманские ценности как таковые именно с ближневосточными региональными лидерами, политическими практиками и повседневной жизнью. Роль Ближнего Востока в современном мире действительно велика. Это ведущий поставщик энергоносителей (2/3 мировых поставок нефти). Объединенные Арабские Эмираты претендуют на звание нового мирового финансового центра. Саудовская Аравия входит в число мировых лидеров в области экспорта капитала. При этом наиболее развитые страны региона поставили себе задачу ликвидировать зависимость от «нефтяной иглы» и стать преимущественно экспортерами товаров и услуг. Активное распространение салафизма (ваххабизма) также стало возможным при опоре на огромные финансовые ресурсы Эр-Рияда.

У нефтяного фонтана есть и побочный эффект — гигантский разрыв в уровне жизни с соседями по региону. Например, в хорошо знакомом профессору Наумкину Йемене (он эксперт по этой стране) в состоянии хронической бедности живет до 60% населения. Доля молодежи по региону в целом приближается к 30%, показатели безработицы — одни из самых высоких в мире. В нефтеносных странах нарастает напряжение между местными



мусульманами и единоверцами-гастарбайтерами. Весь этот клубок демографических и социальных противоречий подкрепляется ощущением разрыва между величиим предков и сегодняшним статусом потомков. А прошлое имеет для арабов гораздо большее значение, чем для западных людей: «У арабов есть очень четкое понимание, кто их предки, откуда они пришли, из каких племен, что завоевали, они знают очень много поколений семьи — это часть их менталитета», — пояснил Виталий Вячеславович телезрителям в первых же кадрах программы.

Религиозная идентификация дает сегодня жителям региона еще и ощущение этого утраченного цивилизационного достоинства. Получается, что непочтительное изображение Пророка представителями западной культуры не только задевает религиозные чувства, но и выпускает наружу энергию недовольства, которая копилась десятилетиями, если не веками. Известно, что отдельные факты истории могут приобретать для целых народов сакральный характер, и особенно чувствительные места исторической памяти — военные поражения. Крестовые походы, колониализм входят в список болезненных для арабов тем, и нынешнее силовое вмешательство Запада в дела региона воспринимается (и эксплуатируется радикалами) как повторение старой истории на новом витке.

Озвученную Эвелиной Закамской гипотезу о том, что главной причиной турбулентности в исламском мире выступает относительная молодость и пассионарность этой религии, профессор Наумкин не поддержал. «Это целый комплекс причин, связанных с постоянным давлением, которому подвергаются арабские страны, долгое время бывшие объектом мировой политики. А они сегодня хотят быть субъектом». «Арабское пробуждение» 2011 г. он считает событием, сопоставимым по исторической значимости с распадом Османской империи и колониальной системы в XX в. И не исключает, что в среднесрочной перспективе перемены возможны даже в таких странах, как фундаменталистский Иран и шариатское Королевство Саудовская Аравия.

Предвзятое отношение к мусульманской цивилизации начало просматриваться задолго до террористических атак на Нью-Йорк и, возможно,



было связано с исчезновением с политической арены «империи зла» — распадом СССР. В одной из своих статей профессор Наумкин в подкрепление этой мысли приводит цитату основателя американского неоконсерватизма Ирвинга Кристола от 1996 г.: «То, что нам необходимо после окончания холодной войны, — это очевидно грозный идеологический враг, достойный нашего масштаба, такой, который бы объединил нас в противостоянии ему».

Тенденция противопоставлять западное «торжество знания и свободы» восточному «невежеству и рабству» формировалась постепенно. Сегодня искушение использовать сюжеты, подобные трагедии 7 января, для усиления исламофобии и, наоборот, мобилизации политических сторонников



под знамена экстремистов, велико с обеих сторон. За счет преобладания тем войны и терроризма в СМИ, ваххабизм и другие радикальные течения, которые призывают очистить ислам от суеверий (т.е. отказаться от знания, наследия исламской философии) начинают восприниматься массовым сознанием как полномочные представители исламского мира в целом. В этих обстоятельствах на востоковедов, исламоведов, арабистов ложится важная миссия — искать точки соприкосновения между двумя мирами. Наша программа, собственно, и заканчивается поэтическим завещанием Редьярда Киплинга на эту тему:

**Но нет Востока и Запада нет,
что племя, родина, род,
Если сильный с сильным
лицом к лицу у края земли
встает?**



Что дальше?

По прогнозам, в 2020 г. доля мусульман в странах ЕС составит до 10% жителей. Там сейчас формируются новые центры силы, которые вносят неопределенность в поток событий и пугают коренных жителей этих стран возможной деформацией их собственных ценностей в результате исламского влияния. Эти фобии выразились в конструировании таких слов, как «Евразия» и «Лондонистан». Иммигранты — симметрично — не хотят быть полностью ассимилированы и боятся утратить культурную идентичность.

Главный водораздел между Востоком и Западом — это роль религии в обществе и государстве. И здесь, по мнению Виталия Наумкина, у России и исламского мира есть цивилизационная

связка. В РФ более 15 млн человек исповедуют ислам, а с иммигрантами эта цифра превышает 20 млн. Религия в целом признана одной из духовных скреп общества. Страна представляет собой уникальный общественный организм, в котором многочисленные этнические и конфессиональные сообщества сосуществуют веками, не без острых моментов, но тем не менее; на современном языке эта практика называется менеджментом культурного многообразия.

Что касается наших внутренних проблем с распространением религиозного экстремизма, то моральная ответственность за это лежит не только на тех, кто эту идеологию нам непосредственно импортирует. В опубликованной год назад статье «Цивилизации и кризис наций-государств» профессор Наумкин приводит интересные примеры лояльного отношения советских властей к идеологии ваххабизма в далеком прошлом: например, высказанное в 1920-е гг. наркомом иностранных дел Г.В. Чичериным мнение, что ваххабитов можно идеологически поддержать как противовес политике англичан в регионе. Известно, что Королевство Саудовская Аравия первым в мире из неарабских стран признал именно СССР. В Средней Азии в те же годы отдельные салафитские проповедники поощрялись как агенты противодействия более влиятельному на тот момент врагу — местным суфиям.

Экстремисты, которые претендуют на эксклюзивное право интерпретировать мусульманское вероучение, представляют сегодня угрозу для гармоничного сосуществования народов по всему миру. Глава Института востоковедения РАН считает эти деструктивные элементы проявлениями варварства и архаики. Последние события подтверждают, что подобные «цветы зла» имеют универсальный характер и могут распускаться пышным цветом в сознании групп людей и отдельных индивидов далеко за пределами мусульманского мира. Что касается будущего, то Виталий Вячеславович Наумкин неоднократно признавался, что он любит арабский мир и что он исторический оптимист: он видит в нем потенциал модернизационного развития и наличие групп, которые «считали бы более привлекательной модель западной цивилизации, не неси она беспорядочное разрушение экзистенциально важных основ их жизни».

Какая же идея родится благодаря Востоку и изменит наш общий мир в XXI в.? Или, как образно сформулировала Эвелина Закамская, что несет с собой восточный ветер? Авторитетный востоковед и исламовед полагает, что эта идея очень проста: «К извращениям приводит неуважение. Надо любить друг друга и уважать ценности, которые кажутся тебе чужими».

Подготовила Ольга Калантарова



*Мыши, как и люди, все разные,
и это очень важно для исследований
строения мозга*

К РАЗГАДКЕ



тайн



МОЗГА

В НБИКС-центре НИЦ «Курчатовский институт» трудятся не только люди. В опытах в его лабораториях участвуют мыши, издавна приносящие большую пользу науке. В лаборатории механизмов и технологий памяти отдела нейронаук НБИКС-центра Курчатовского института с их помощью, в частности, изучаются способы запоминания той или иной информации. Нужно это для того, чтобы, во-первых, лучше понять строение мозга, во-вторых, возможно, научиться излечивать такие грозные недуги, как болезнь Альцгеймера или рассеянный склероз.

Серая мышка послушно сидит на ладони лаборанта, как будто зная заранее, что сейчас начнется исследование под микроскопом, когда станут доступны верхние слои коры головного мозга и каждый нейрон засветится таинственным зеленым светом, а потом все соединится в сложную, почти как у человека, трехмерную модель. Как вдруг — прыг! — норушка внезапно взлетает с ладони, преодолевая в прыжке немыслимую для нее высоту, и аккуратно приземляется. «Летучая мышка», — ласково говорит лаборант, сажая ее обратно на ладонь. Мыши, как и люди, все разные. Одни любят ласку, другие рвутся погулять, третьи невероятно терпеливы, четвертые ни за что не хотят учиться. Все это — важные детали для исследований. Об этом и многом другом нам рассказывают научные сотрудники лаборатории механизмов и технологий памяти отдела нейронаук НБИКС-центра Курчатовского института **Ольга Игоревна Ивашкина** и **Марина Анатольевна Рощина**.

— В чем суть выполняемой вами работы?

М.Р.: Если совсем кратко, в нашей лаборатории мы занимаемся исследованием механизмов ассоциативной памяти: каким образом мозг запоминает что-то новое, как формируется долговременная память.

О.И.: Мы используем большое количество разных подходов, но основной, о котором бы мы хотели сегодня рассказать, — это оптическая регистрация активности нейронов в мозге. Что это такое? Мы берем трансгенных мышей, у которых в мозг внесен ген флуоресцентного белка, изначально там природой не заложенного. В результате нейроны мышки начинают «светиться». Это очень наглядно и удобно для исследований. Затем мы вживляем покровное стекло над определенным местом в мозге, что позволяет нам заглянуть в мозг с помощью оптических методов мультифотонной микроскопии.

— **Правильно ли я понимаю, что сама мышка при этом не чувствует никакой боли?**

Раньше было невозможно дважды заглянуть в мозг одного и того же животного, узнать, как нейронные механизмы, связанные с обучением, пересекаются друг с другом. Переход на эксперименты с заглядыванием в мозг живых организмов и оценкой их нейронной активности позволил сделать такой прорывной шаг

О.И.: Да, это совсем не больно. Мышка быстро привыкает к режиму эксперимента и сидит спокойно. Потом мы возвращаем ее «домой» и обучаем чему-то новому. Мышь легко запоминает новые навыки, новую обстановку, какие-то ситуации. После этого мы несем животное под микроскоп, закрепляем его там, опускаем объектив — и на экране микроскопа можем увидеть, какие именно нейроны и каким образом активировались в результате нашего обучения. Таким образом, мы можем видеть распределенную нейрональную сеть, которая была связана с формированием новой памяти.

М.Р.: Дальше мы проводим анализ того, какие нейроны активировались в разных ситуациях — в момент обучения и в момент тестирования. Например, нас интересует, каким образом в мозге сохраняются воспоминания о сложных событиях, которые состоят из разных компонентов. В случае

животного это может быть сложный составной стимул, состоящий из света и звука. Нам интересно, каким образом сложный составной стимул кодируется в нейронах головного мозга в тот момент, когда животное ассоциирует этот стимул с каким-то неприятным воздействием. Будет ли этот стимул представлен в коре головного мозга какой-то одной сетью или различные его компоненты относятся к разным сетям и общая память о нем окажется простой суммой этих двух сетей? Все эти вопросы мы начали исследовать около года назад и постепенно продвигаемся к их решению.

— Почему именно мышки?

О.И.: Мышь — хорошо обучаемое и удобное для эксперимента существо. Одно и то же животное можно исследовать довольно длительное время, около двух месяцев, а может и дольше, и это хорошо как с этической, так и с научной точек зрения. Раньше было никак невозможно дважды заглянуть в мозг одного и того же животного, узнать, как ней-

ронные механизмы, связанные с обучением, пересекаются друг с другом. Переход на эксперименты с «заглядыванием» в мозг живых организмов и оценкой их нейронной активности позволил сделать такой прорывной шаг. Например, мы видим, как долго может помнить наша подопечная то, чему мы ее учили. — месяц, два или даже больше, а некоторые вещи они могут запоминать до конца жизни: скажем, неприятные ощущения, когда ее помещают в клетку, где на электродный пол подают слабый электрический ток. Мышь навсегда запо-

минает, что в этом помещении опасно. Она садится в угол и неподвижно сидит до тех пор, пока ее не унесут из неприятного места.

— А зачем нам все это нужно — знать, как устроен мозг у мыши?

О.И.: Мы хотим узнать, как устроена память, понять, можно ли ее укрепить, а что-то неприятное, мешающее жить, наоборот, забыть. Человек, как выясняется, запоминает какие-то события в целом. то есть вы никогда не запоминаете просто красную или белую стену — вы запоминаете комнату. И эпизоды, происходящие с вами, запоминаете целиком. Вы можете вспоминать какой-то острый запах...

— Как, например, в вашем виварии?

— Да, для вас это новый и непривычный запах, вы его точно запомните, и виварий будете вспоминать вместе с запахом, нашим экспериментом и нашей сегодняшней беседой. Все классические



Ольга Ивашкина и Марина Рощина, научные сотрудники лаборатории механизмов и технологий памяти отдела нейронаук Курчатовского НБИКС-центра, со своими маленькими подопечными

эксперименты на животных были направлены только на один конкретный стимул, т.е. на то, как животное запоминает что-то одно. Нам показалось, что это отдалено от реальности, и мы захотели смоделировать ситуацию, когда работают несколько сложных стимулов.

— И вы стали держать?

О.И.: Мы начали выяснять, каким образом сложные стимулы влияют на работу мозга. Сходятся ли они на одних и тех же клетках или информация зрительных, слуховых или обонятельных стимулов распределяется по разным клеткам мозга?

— Но какое это имеет отношение к человеку?

М.Р.: Непосредственное, потому что на мышах мы можем изучать клеточные механизмы формирования памяти у человека. На человеке можно проводить исследования с помощью электроэнцефалографии или функциональной МРТ,

но пространственное разрешение этих методов недостаточно для того, чтобы делать заключения о таких сложных процессах. А понимание клеточных механизмов формирования долговременной памяти — сейчас одна из важных задач всей нейробиологии. От этого знания будет зависеть в дальнейшем очень многое.

— Что именно?

О.И.: Выясняется, например, что нашу память хранят не какие-то крупные структуры сами по себе. Память — это распределенная в мозге сеть. Она как бы «разлита» по всему мозгу. Мы можем найти эту сеть, «пощупать» ее и понять, как она возникает, реорганизуется со временем, и не только у мышей. Прикладное значение таких исследований огромно. Мы не только узнаем, как работает долговременная память, но и сумеем понять принципы сбоев, происходящих в ней при возрастных нарушениях.

Доставляя в мозг излучение определенной длины волны, можно активировать какие-то специфические нейроны, в результате чего достигаются самые разные цели. Возможно не только стимулировать память, но и добиться, например, ложных воспоминаний или «стереть» ненужные воспоминания

— Не только возрастных, наверное. Известно, что различные нейродегенеративные заболевания, такие как болезнь Паркинсона или рассеянный склероз, «молодеют» и прогрессируют.

М.Р.: Именно так. Изучая механизмы памяти, мы сможем на них повлиять. Мы будем пытаться восстановить память или не дать ей ослабляться на уровне клеточных сетей. Это пока звучит как некая фантастика, но подходы и методы в нейробиологии сейчас очень активно развиваются, и в недалеком будущем сказка может стать былью.

— Проводились ли подобные эксперименты по возобновлению памяти у мышей?

О.И.: Существует активно развивающаяся область нейробиологии, когда с помощью методов генетических модификаций в нейроны можно внести такие изменения, которые позволят светом определенной длины волны искусственно их активировать. Для этого используются специальные белки-каналы, выделяемые из водорослей или бактерий, когда из энергии света получается собственная энергия. Доставляя в мозг излучение определенной длины волны, можно активировать какие-то специфические нейроны, в результате чего достигаются самые разные цели. Возможно не только стимулировать память, но и добиться, например, ложных воспоминаний или «стереть» ненужные воспоминания. В применении к человеку важно не только поддерживать и сохранять память, иногда необходимо от какой-то части памяти избавиться.

— То есть убирать некие стрессующие моменты, вызывающие тяжелые депрессивные расстройства?

М.Р.: Да, в ситуации, когда развивается посттравматический синдром, сильно мешающий человеку жить. Наши фундаментальные исследования здесь очень важны.

— Мне показалось, или мышки действительно отличаются индивидуальными особенностями? Имеют ли они какой-то характер, темперамент?

О.И.: Все живые существа имеют разные индивидуальные особенности. Есть такие, которые запоминают все с ходу, и такие, кому требуется на это много времени. Но встречаются и такие мышки, которые для решения задачи выбирают не ту стратегию, которой мы от них ждем.

— В каком смысле?

О.И.: Например, существует тест, связанный с формированием пространственной памяти у животного, когда мы берем бассейн, наполненный водой, и ставим в него платформу, на которую можно залезть. Мышка обычно неплохо движется в воде. Она барахтается в бассейне, добирается до этой платформы, карабкается на нее и сидит там, пока мы ее не заберем. С каждым разом время поиска этой платформы сокращается — мышь запоминает, что надлежит делать для быстрого «спасения». Однако всегда находится несколько мышей, которые вообще не желают залезать на платформу. Они делают для себя другой вывод: ты поплаваешь немного, а потом тебя перенесут в привычную теплую клетку, и ничего плохого с тобой не произойдет. Это единичные мыши, индивидуумы, которые решают задачу не так, как другие. Вопрос индивидуальных отличий нейрональных субстратов чрезвычайно интересен и важен. Но это задача уже следующего, более высокого порядка.


— Ведь это означает, что «универсальной таблетки» в принципе быть не может!

О.И.: Мы хотим начать с того, чтобы найти какой-то универсальный подход, который будет работать для большинства живых организмов. При этом, конечно, возможны небольшие отличия между конкретными нейронами или стратегиями решения задачи. Исследования ведутся, и довольно давно, но работа мозга — очень сложная вещь. Будут потрачены десятилетия на решение всех этих задач, прежде чем научимся это делать.

— Я читала книгу Натальи Петровны Бехтеревой, которая к концу жизни пришла к выводу, что ничего не знает о работе мозга, что мозг — загадка большая, чем тайны мироздания.

О.И.: Лет 20–30 лет назад считалось, что ученые почти добрались до всех разгадок и память находится в определенной структуре мозга. Достаточно эту структуру удалить, и памяти не будет. Все были готовы кричать: «Ура, мы нашли структуру, связанную с памятью!» Но все оказалось намного сложнее. До понимания всех механизмов памяти нам еще, конечно, далеко. ■

Беседовала Наталия Лескова

 **очевидное
невероятное**

национальный научно-информационный журнал
В мире науки

ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

НАУЧНАЯ РОССИЯ

www.sci-ru.org

**Для всех, кто живет
на планете
ЗЕМЛЯ!**

ПЛАНЕТОЛОГИЯ

Дэвид Джуитт
и Эдвард Янг

Океаны с небес

Новые данные возродили дискуссию по поводу того, были ли кометы, астероиды или другие космические тела единственными источниками воды на нашей планете



ОБ АВТОРАХ

Дэвид Джуитт (David Jewitt) заинтересовался астрономией в возрасте семи лет под впечатлением увиденного им завораживающего зрелища — метеорного дождя над Лондоном. Ныне он член Национальной академии наук США, профессор Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе.



Эдвард Янг (Edward D. Young) — профессор геохимии и космохимии, работает в Институте планет и экзопланет Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Занимается историей Солнечной системы, изучая химию метеоритов, межзвездной среды и других звезд с помощью сложных лабораторных приборов и самого большого в мире телескопа.



Стоя на берегу океана и любясь бегущими откуда-то из-за горизонта волнами, невольно задумываешься о том, что эта стихия неподвластна времени. Наши древние предки именно такой ее и представляли. Многочисленные легенды и мифы повествуют, что водная пучина существовала до появления суши и даже света. Теперь мы знаем, что Землю не всегда покрывал Мировой океан. Его воды — так же как каждая капля дождя, каждый порыв влажного воздуха и каждый глоток из чашки — это напоминание о давно минувших эпохах, когда океаны буквально падали с небес.

Вся вода в Солнечной системе берет начало от гигантского первичного облака из газа и пыли, которое более 4 млрд лет назад резко сжалось, образовав Солнце и планеты. В этом облаке в избытке присутствовали водород и кислород — два химических элемента, из которых состоит вода, H_2O . В обогащенности газопылевого облака именно этими составляющими нет ничего удивительного, поскольку водород и кислород — это первый и третий среди самых распространенных химических элементов во Вселенной (второе место занимает химически инертный гелий). Большую часть газа вобрали в себя Солнце и газовые

планеты-гиганты, которые сформировались раньше, чем твердые планеты. Значительное количество оставшегося кислорода образовало химические связи с атомами других элементов, таких как углерод и магний, но даже после этого из свободных водорода и кислорода могло образоваться в несколько раз больше воды, чем твердой породы.

Однако результат оказался совсем не таким, какой следует из сказанного. Земля и ее соседи, Меркурий, Марс и Венера, — это твердые планеты, а не водные миры. Их относительно скудные запасы воды — результат того, где и как они сформировались. Когда газопылевое облако — колыбель Солнечной системы — резко сжалось, составляющее его вещество сплюсилось во вращающийся диск, где и родились все планеты. Формирование твердых планет было, по видимому, медленным долгим процессом, в ходе которого малые объекты сталкивались и соединялись, образуя более крупные: микроскопические песчинки становились гравием, который затем превращался в булыжники, а те, в свою очередь, — в километровые каменные глыбы, называемые планетезималиями, — строительный материал для планет. Многие планетезималии, оставшиеся со времен формирования планет, стали космическими объектами, которые известны сегодня как астероиды и кометы.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Под действием тепла и света вблизи молодого Солнца в период формирования планет вода оказалась на периферии Солнечной системы, что привело к образованию относительно сухих внутренних планет.
- Возможно, вода попала на Землю позднее в составе метеоритов и комет. Однако имеющиеся сегодня данные допускают множество других сценариев.
- Вопрос об источнике воды на нашей планете останется без ответа до тех пор, пока не будут исследованы другие области Солнечной системы.
- Возможно, однако, окончательное решение этого вопроса не будет найдено никогда.

Вероятно, во внутренних областях диска, ближе к Солнцу, тепло от сильно разогретого трением газа и интенсивное излучение звезды выпарили водород и другие легкие химические элементы, оставив почти безводные вещества, из которых и сформировались планеты. В то время как вблизи Солнца росли каменные безводные громады, вдали от него, примерно там, где сейчас находятся пояс астероидов и орбита Юпитера, температура диска была достаточно низкой, чтобы вода и другие летучие вещества превратились в лед. Астрономы называют границу между этими областями снеговой линией, и, согласно общепринятому мнению, большая часть воды на Земле попала к нам из тех краев. Она пролилась на нашу планету в виде ливней из ледяных астероидов и комет, которые обрушивались на внутренние области Солнечной системы на последних стадиях формирования планет.

Недавние наблюдения других звезд, окруженных формирующимися планетами, также свидетельствуют о существовании снеговых линий и столкновении «поздних» планетезималей. Всмотревшись в глубины межзвездного пространства, можно увидеть, что там протекают такие же процессы, какие давным-давно имели место в Солнечной системе. Но все равно многие стороны долгой истории образования океанов на Земле остаются загадкой и по-прежнему составляют предмет напряженных исследований. Хотя океаны казались нам вечными и неизменными, новые факты приближают нас к ответу на вопрос, как и где океаны сформировались и произошло ли это в основном при участии комет и астероидов или же иным путем.

Планета-океан суше, чем старая кость

Из космоса Земля кажется «планетой-океаном». Вода покрывает более двух третей ее поверхности; кроме того, на ее долю приходится более 2/3 массы тела типичного землянина. Океаны, средняя глубина которых равна 4 км, вмещают достаточно воды для заполнения ею сферы диаметром 1,3 тыс. км. Однако, к удивлению многих, масса Мирового океана составляет лишь 0,02% массы Земли. Другими словами, если бы наша планета была 300-тонным «Боингом-777», вся вода Мирового океана весила бы столько же, сколько один-единственный пассажир. А пресная вода, которая содержится в полярных шапках, облаках, реках, озерах, почве, флоре и фауне планеты, составляет лишь крошечную часть ее общего количества.

Много воды скрыто глубоко под земной поверхностью, в твердой мантии планеты, которая простирается более чем на 3 тыс. км вглубь от уровня коры до верхней границы жидкого металлического ядра. Вода там находится не в свободном состоянии. Она связана с горными породами и минералами, которые когда-то погрузились под земную кору в ходе тектонических процессов. Некоторая часть этой связанной влаги вырывается на поверхность при извержении вулканов, но основная ее масса остается в мантии. Еще глубже находится массивное железоникелевое ядро Земли. На его долю приходится 30% массы планеты, и, возможно, в нем содержится даже больше воды, чем в мантии. Дело в том, что присутствующий в ядре водород мог бы связаться с кислородом, не будь там огромного давления и высокой температуры.

Сколько воды содержится в недрах нашей планеты, в точности не знает никто. Эта неопределенность связана с отсутствием образцов и слабым пониманием того, насколько активно вода перемещается к поверхности и от нее. Разумно

Если представить, что Земля — это «Боинг-777» при полной загрузке, то масса Мирового океана не превысит массы одного пассажира. Как ни странно, но наша планета в 100 раз суше, чем какая-нибудь старая кость

предположить, что одна только мантия содержит по меньшей мере еще целый океан воды, что вдвое увеличивает водные ресурсы Земли. Но даже при таких условиях на долю воды приходится лишь 0,04% массы планеты, что эквивалентно массе двух пассажиров «Боинга-777» при полной загрузке. Как это ни странно, на самом деле Земля в 100 раз суше, чем старая-престарая кость, содержащая минимальное количество влаги. Тем не менее вопрос о том, как вода, о существовании которой нам доподлинно известно, попала на нашу планету, остается открытым.

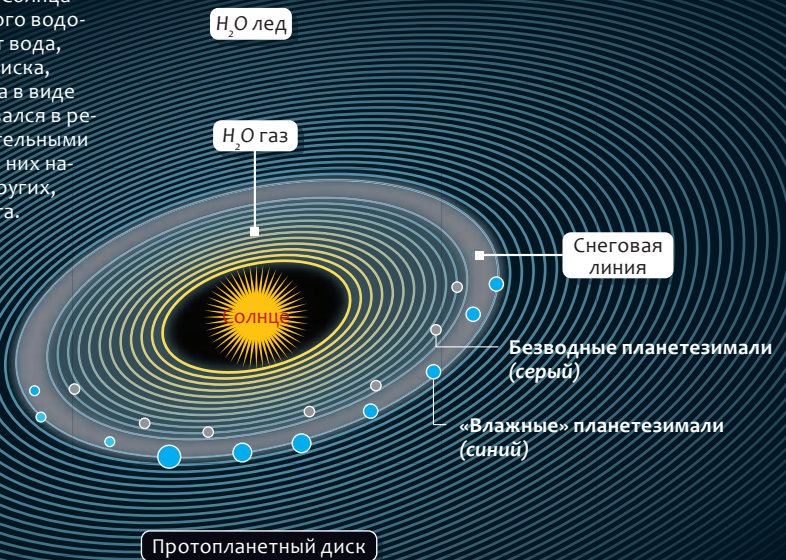
Кометы или астероиды?

Считается, что вначале Земля была даже суше, чем сегодня. Что же могло стать источником воды на относительно поздней стадии формирования Земли, когда уже образовалась Луна?

У молодой Земли, как и у других твердых планет Солнечной системы, поверхность была в частично расплавленном состоянии на протяжении как минимум десятков миллионов лет после рождения. Связано это с тем, что в те времена на нашу

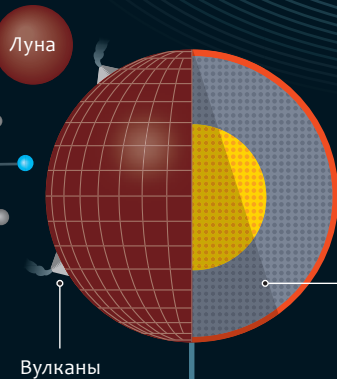
ЗАПУТАННАЯ ИСТОРИЯ

На Земле не всегда были океаны. 4,5 млрд лет назад самой нашей планеты вообще могло не существовать, она только формировалась в огромном, вращающемся вокруг Солнца диске из газа и пыли. В этом диске содержалось много водорода и кислорода — элементов, из которых состоит вода, но сама она находилась в основном на периферии диска, за так называемой снеговой линией, и существовала в виде льда. Наш мир, каким мы его знаем теперь, образовался в результате бесчисленных столкновений между строительными блоками планет — планетезималиями. Некоторые из них находились близко к Солнцу и были безводными, на других, располагающихся за снеговой линией, имелась влага. Эти последние и снабжали водой нашу юную планету. Однако до появления океанов в их нынешнем виде было далеко. Большинство ученых склоняются именно к такому развитию событий, но расходятся по поводу того, действительно ли кометы или астероиды доставили основную массу воды на Землю.



4 Последствия

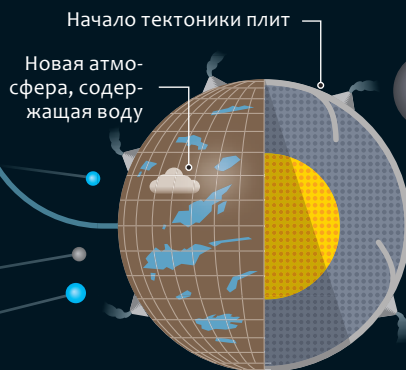
Безводная Земля медленно восстанавливается после породившего Луну столкновения. В результате вулканической деятельности и падения космических тел постепенно образуется атмосфера.



Мантия с относительно малым содержанием воды

5 Остывание

Вода, доставленная упавшими космическими телами и поднявшаяся из недр при извержении вулканов, образует на остывающей поверхности земли небольшие моря.



6 Пополнение водных запасов

Планету бомбардируют оставшиеся планетезимали (смесь астероидов и комет) из внешних, богатых водой, областей Солнечной системы. Из насыщенных парами воды облаков на Землю проливаются океаны воды.



3,9 млрд лет назад

Протоконтинент

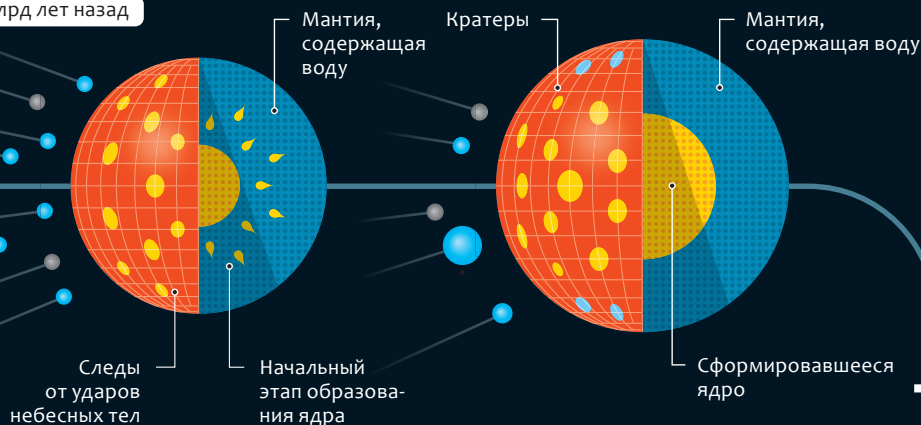
1 Горячее начало

Во время формирования наша планета находилась в расплавленном состоянии, но в мантии удерживалось некоторое количество воды.

2 Протоземля

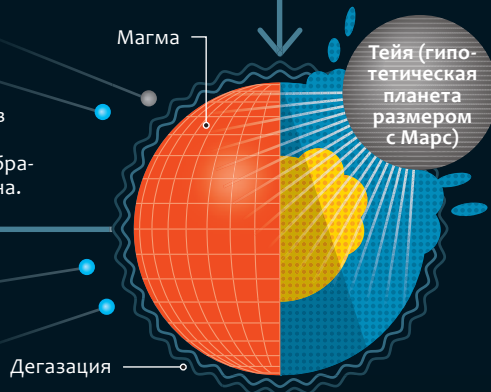
В результате падения планетезималей будущая Земля наращивала массу. Из опускающихся к центру тяжелых элементов формировалось ядро. Большая часть воды в составе гидратированных минералов сосредоточена в мантии, но некоторое ее количество находится на остывающей поверхности.

4,55 млрд лет назад



3 Рождение Луны

Колоссальный удар потряс планету до самого ядра, уничтожив атмосферу, разрушив мантию и выбросив большую часть воды в космическое пространство. Из собравшихся вместе обломков горной породы образовался естественный спутник нашей планеты — Луна.



7 От планеты-океана...

Планета охлаждается, континенты продолжают расти в результате извержений подводных вулканов.

8 ...к планете Земля

Земля принимает привычный для нас облик.

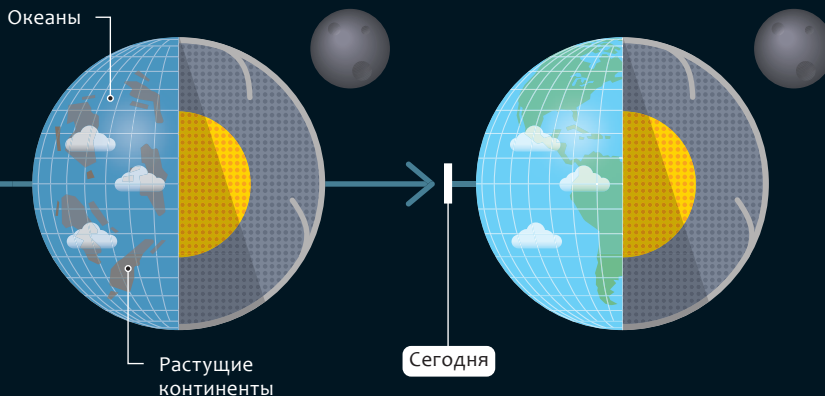


Illustration by John Grimwade, VISIBLE EARTH AND NASA (Earth)

планету обрушивалось бесчисленное множество планетезималей размером с огромные горы, которые «накачивали» ее энергией. Геохимические данные свидетельствуют о том, что в магме Земли тоже содержится некоторое количество воды, но расплавленная горная порода — не лучшая субстанция для ее удержания; большая часть влаги на молодой Земле и планетезималях высвобождалась в виде ионизированного газа и пара. Частично эти вещества улетучивались в космическое пространство, но какое-то их количество возвращалось на Землю, чтобы снова быть включенными в горные породы, прежде чем оказаться в мантии.

К дальнейшим изменениям водных запасов на самой Земле и вблизи ее поверхности привели столкновения с гигантскими объектами. В частности, считается, что примерно 4,5 млрд лет назад в Землю врезалось космическое тело размером с Марс, и это сопровождалось выбросом огромного количества вещества нашей планеты; из него, по одной из гипотез, образовалась Луна. Вероятно, под действием энергии, выделившейся при этом столкновении поистине глобального масштаба, была сметена почти вся атмосфера, вода в океанах мгновенно испарилась и образовался океан из магмы глубиной в сотни километров. Независимо от того, была вода на только что сформировавшейся Земле или нет, этот колоссальный взрыв скорее всего практически всю ее уничтожил.

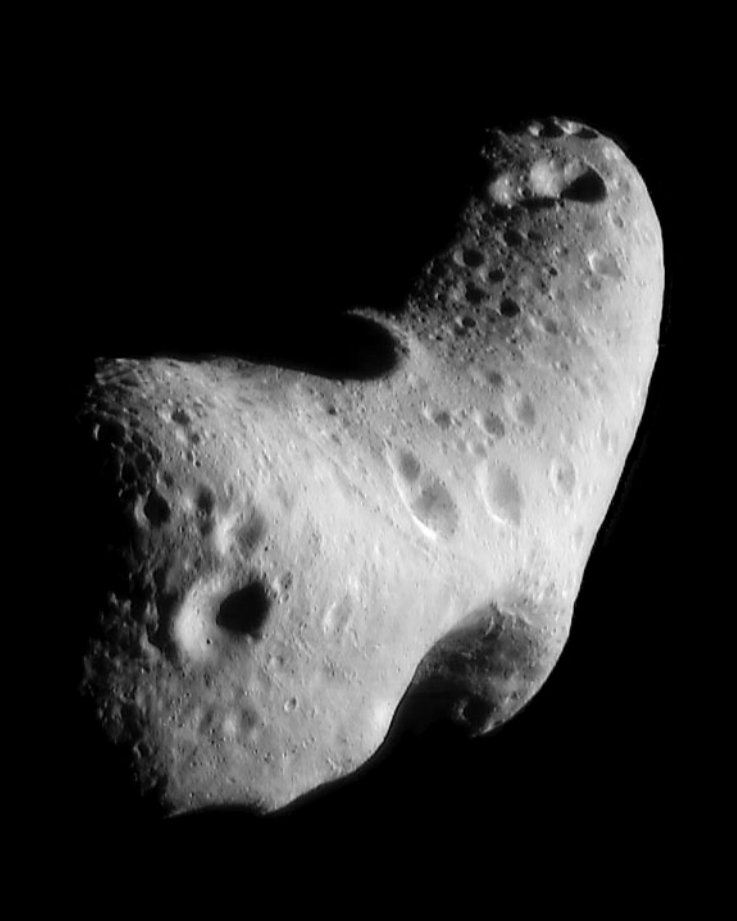
Откуда же могла взята вода в период после образования и охлаждения системы «Земля — Луна»? Уже с 1950-х гг. было известно, что кометы — это по сути глыбы льда с вкраплениями камней и что они проникают во внутренние области Солнечной системы из двух обширных «хранилищ», расположенных на ее периферии, — пояса Койпера (его внутренняя граница находится на уровне нынешней орбиты Плутона) и облака Оорта (которое лежит далеко за пределами пояса Койпера и, вероятно, простирается на половину расстояния до ближайшей к нам звезды). Многие астрономы придерживались мнения, что основным источником воды для Мирового океана на Земле послужили именно кометы.

Но в 1980-х и 1990-х гг., когда впервые было определено соотношение дейтерий/водород (D/H) в кометах из облака Оорта, уверенность в правильности этой гипотезы несколько поколебалась. Дейтерий — это тяжелый изотоп водорода, и его распространенность по сравнению с водородом служит ценным ориентиром при отслеживании истории объекта. Если Мировой океан на Земле образовался из воды растаявших комет, то соотношение D/H в нем должно быть близко к таковому у нынешних комет. Однако в кометах из облака Оорта D/H вдвое выше, чем в обычной морской воде, из чего следует, что большая часть воды на Земле имеет какое-то другое происхождение.

В то же время соотношения D/H в кометах из пояса Койпера, измеренные в последние несколько лет, сходны с таковыми для морской воды, что согласуется с идеей «кометного» происхождения воды на Земле. Впрочем, сегодня этот «маятник мнений» вновь качнулся в сторону от комет. Согласно данным, полученным в конце 2014 г. с помощью космического аппарата «Розетта» Европейского космического агентства, соотношение D/H у кометы 67P / Чурюмова — Герасименко из пояса Койпера в три раза выше, чем в водах океана. Этот результат вместе с данными о динамике орбит космических тел, попадающих на Землю из богатых кометами областей космического пространства, наводит на мысль, что, хотя некоторое количество воды попало к нам вместе с кометами, вряд ли последние были основным ее источником.

Очевидную альтернативу кометам представляют астероиды, и сегодня им единодушно отдают предпочтение в вопросе о том, откуда взялась большая часть воды на Земле. Как и кометы, астероиды — это обломки мелких планетезималей, из которых образовались планеты. Астероиды «главного пояса» обращаются вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера, что гораздо ближе к Земле, чем пояс Койпера, следовательно, по сравнению с кометами вероятность их падения на Землю существенно выше. Прекрасным подтверждением этому служит не что иное, как Луна, вся поверхность которой изрыта кратерами от древних астероидов. Метеориты — куски горной породы, оставшиеся от долетевших до земной поверхности астероидов, — напоминают нам о том, что Земля до сих пор постоянно подвергается бомбардировке межпланетными каменными обломками. Изучение этих редких космических пришельцев дает возможность заглянуть в их давнее прошлое и выяснить, могли ли они наполнить водой Мировой океан Земли. Исследования отдельных семейств метеоритов показали, что D/H у них близко к таковому у морской воды.

Метеориты, как и их прародители астероиды, состоят из самых разных веществ, в том числе и воды. Астероиды из внутренней части Главного пояса, находящейся от нас на расстоянии около двух астрономических единиц, порождают множество каменных практически безводных метеоритов. Астероиды же из областей, удаленных более чем на половину расстояния от Земли до Юпитера, можно назвать «влажными». От большинства из них остаются метеориты, относящиеся к группе углеродсодержащих, или углистых хондритов. Это конгломераты гидратированных минералов и карбонатов, в которых содержание воды может достигать нескольких процентов от массы породы. История воды в подобных горных породах стало основным предметом исследований одного из нас (Эдварда Янга), занявшегося выяснением судьбы воды в горных породах здесь, на Земле.



Неиссякаемый источник воды: сведения о комете 67P/Чурюмова — Герасименко (вверху) позволяют предположить, что основная часть воды попала на Землю благодаря астероидам (слева)

Богатые водой минералы, входящие в состав углистых хондритов, образуются в ходе химических реакций между веществами горной породы и находящейся в жидком или газообразном состоянии водой, которые протекают при относительно низких температурах в несколько сотен градусов Цельсия. На Земле такие минералы образуются, когда вода просачивается сквозь пористые горные породы. Находясь внутри метеоритов, они указывают время, когда лед растаял и проник сквозь пылевую матрицу, составляющую породу метеорита.

Источником тепла, расплавившим этот лед, почти наверняка был распад радиоактивного изотопа алюминия, ^{26}Al , который в изобилии присутствовал в ранней Солнечной системе. Превращаясь в изотоп магния, ^{26}Mg , он несколько миллионов лет выделял огромное количество энергии. В скованной холодом молодой Солнечной системе тепло, выделяемое при распаде ^{26}Al , было мощной, но непродолжительной силой, повлиявшей на геологические и гидрологические свойства астероидов, богатых летучими веществами. По-видимому, в течение нескольких миллионов лет после образования Солнца вода внутри многих из них находилась в жидком состоянии, поддерживая процесс гидротермальной циркуляции, подобный тем, которые протекают в жерлах вулканов, расположенных вдоль срединно-океанических хребтов на Земле. Гидратированные минералы и карбонаты, по-видимому, образовались, когда горячий соляной раствор просачивался через трещины и щели в астероиде, разогретом теплом, которое высвобождалось при распаде ^{26}Al . На самых поздних

стадиях формирования планет сила гравитации внешних планет-гигантов рассеивала вещество по всему пространству молодой Солнечной системы, выталкивая насыщенные влагой астероиды за пределы «снеговой линии», где они бомбардировали Землю и другие твердые планеты.

Свидетельства этого позднего перетасовывания вещества мы видим в особенностях химического состава Земли и Марса. Например, элементы платиновой группы обладают более высоким сродством к железу и другим металлам, чем к горным породам. На раскаленной формирующейся Земле эти элементы должны были бы опускаться вместе с железом и никелем, образуя ее ядро. Однако, как это ни удивительно, сегодня в мантии и даже в коре элементы платиновой группы присутствуют в количестве, сравнимом с количеством элементов, обладающим высоким сродством к хондритам, составляя приблизительно 1% массы Земли. Этот налет, образовавшийся в результате падения космических тел на уже сформировавшуюся Землю, служит сегодня материалом, из которого изготавливают платиновые обручальные кольца и каталитические преобразователи для автомобилей. Это также дает объяснение тому, откуда на Земле столько воды. По-видимому, не только Земля и Марс, но и все каменные планеты на поздних стадиях формирования подвергались бомбардировке космическими телами, происходящими из пояса астероидов.

Однако в этой стройной картине есть один серьезный изъян. Он становится очевидным, когда речь заходит о газообразных элементах, например ксеноне и аргоне, инертных газах, не вступающих ни в какие химические реакции. Эта инертность позволяет использовать их в качестве индикатора различных физических процессов, поскольку

они не подвержены влиянию искажающих картину химических факторов. Если твердые планеты и астероиды — это своего рода сообщающиеся сосуды, значит, большинство инертных газов должны содержаться в них в сходных пропорциях. Однако, как показали исследования, содержание ксенона и аргона в метеоритах гораздо выше, чем на планетах, куда они упали. Это касается как Земли, так и Марса.

За последние годы появилось множество гипотез относительно причин малого содержания ксенона, в том числе и таких, которые возвращают нас к идее о роли комет в «поставке» на Землю воды и других летучих веществ. Пока пишутся эти строки, исследователи с нетерпением ждут результатов измерений содержания инертных газов в кометах, которые должен передать космический зонд «Розетта», исследующий комету 67P / Чурюмова — Герасименко. Возможно, эти измерения помогут, наконец, приблизиться к окончательному ответу на вопрос о происхождении воды Мирового океана на Земле. Но если результаты будут неопределенными, то породят более сложные вопросы, которые повлекут за собой дискуссии еще на десятилетия.

Обманчивое различие

Кажется, что простого решения в поисках различий между астероидами и кометами как источниками воды на Земле не существует. Однако трудности могут быть связаны не с существом дела, а с тем, как мы ставим вопросы. Возможно, различия между астероидами и кометами не столь велики. Один из нас (Дэвид Джуитт) вместе с Генри Се (Henry Hsieh) из Тайваньского института астрономии и астрофизики недавно открыли кометы Главного пояса — космические объекты, движущиеся в пределах пояса астероидов, но выбрасывающие пыль на каждом витке орбиты, что характерно для обычных комет. Как ни странно, эти объекты содержат лед, хотя находятся в пределах ярко освещенной, бедной летучими веществами «снеговой линии». Кроме того, вероятно, правильнее ставить вопрос не о том, почему на Земле так много воды, а о том, почему ее так мало. Относительно небольшое ее количество могло оказаться на Земле разными путями, и все они тесно связаны с историей планеты, типом падавших на нее космических тел и условиями, в которых они образовались. Эти неопределенности дают широкий простор для появления других, более экзотических сценариев попадания воды на Землю, и какими бы невероятными они ни казались, их нельзя окончательно отбрасывать.

Так, теоретически большая часть воды могла существовать на Земле со времен ее рождения. Согласно новейшим данным, в аморфных периферических областях частичек межпланетной пыли, вероятно, скапливались ионы водорода, приносимые солнечным ветром, которые участвовали

в образовании гидратированных минералов и попадали на планеты или планетезимали на ранних стадиях их формирования. Но все равно трудно представить, как такой первичный запас воды мог существовать все это время в толще мантии и оказаться на поверхности только в результате сокрушительных ударов космических тел на завершающих этапах формирования Земли.

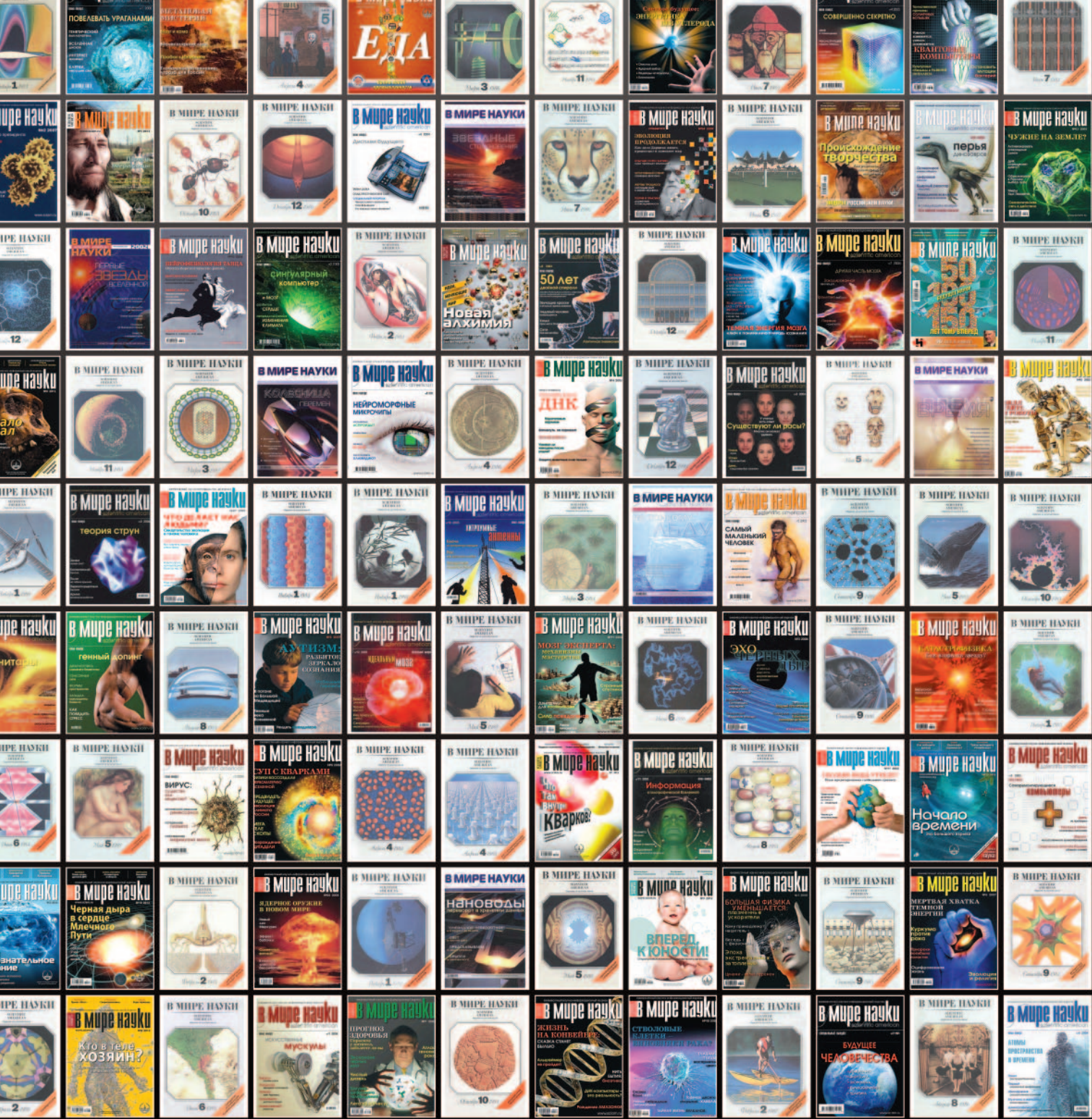
Не остались без внимания ученых и космические тела, более крупные, чем кометы и астероиды. Вспомним о карликовой планете Церера — самом крупном объекте пояса астероидов диаметром 900 км. По-видимому, до половины массы Цереры составляет вода. В начале 2014 г. астрономы наблюдали явление, очень похожее на выброс из недр планеты пара в количестве примерно 20 тыс кг в час. Это с неопровержимостью свидетельствует о том, что Церера — богатая водой планета. Земля по массе примерно в 6 тыс. раз больше, чем Церера. Если половину массы последней действительно составляет вода, значит суммарные запасы воды на Земле, находящейся как на поверхности, так и в недрах, равны количеству воды всего на пяти Церерах.

В молодой хаотичной Солнечной системе такие объекты были вполне обычны, и легко представить, что они проникали в ее внутренние области и падали на Землю. Лишь символической пригоршни подобных тел хватило бы, чтобы на нашей планете образовались моря и океаны, и никакие дожди из астероидов и комет не понадобилось бы. В марте этого года автоматическая межпланетная станция *Dawn* («Рассвет»), запущенная NASA 27 сентября 2007 г., приблизится к Церере и позволит взглянуть с близкого расстояния на ее льды и струи газа, что даст совершенно новые факты об истории появления воды как на нашей планете, так и за ее пределами. ■

Перевод: С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Рубин А. Тайны первичных метеоритов // ВМН, № 4, 2013.
- Лемоник М. Плутон и то, что за ним // ВМН, № 1, 2015.
- A Population of Comets in the Main Asteroid Belt. Henry H. Hsieh and David Jewitt in *Science*, Vol. 312, pages 561–563; March 23, 2006.
- Water and Astrobiology. Michael J. Mottl, Brian T. Glazer, Ralf I. Kaiser and Karen J. Meech in *Chemie der Erde–Geochemistry*, Vol. 67, No. 4, pages 253–282; December 2007.
- Detection of Solar Wind-Produced Water in Irradiated Rims on Silicate Minerals. John P. Bardley et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 111, No. 5, pages 1732–1735; February 4, 2014.
- 67P/Churyumov — Gerasimenko, a Jupiter Family Comet with a High D/H Ratio. K. Altwegg et al. in *Science*. Published online December 10, 2014.



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







ТЕХНОЛОГИИ

Рон Коуэн

СЛУШАЮЩАЯ ДААННЫЕ

Тода три назад композитор Роберт Александер (Robert L. Alexander) сидел за своим ноутбуком и прослушивал один звуковой файл, от которого большинство людей клонило бы в сон: это были едва различимые хлопки, как будто сильный бриз колышет флаг где-то в отдалении. Звук повторялся снова и снова, иногда чуть громче, иногда тише.

Александер — из тех, кому терпения не занимать. Он продолжал слушать, и на 46-й минуте хлопки прекратились и послышалось нечто вроде шума ветра в лесу. По его воспоминаниям, все напоминало «первородный шум, прародитель всех шумов».

Звук на самом деле напоминал шум ветра: это был солнечный ветер, могучий поток заряженных частиц, извергаемых Солнцем со скоростью миллиона тонн в секунду и несущийся сквозь космическое пространство. В 2008 г. космический аппарат *NASA Wind* измерил магнитное поле, создаваемое этими частицами на подлете к Земле. Это поле абсолютно неслышно, хотя его сила и направление изменяются. Александер (не только композитор, но и аспирант Мичиганского университета, обрабатывающий данные о Солнце) с помощью разработанного им алгоритма преобразовал эти колебания в звук слышимого диапазона.

Данная работа — нечто большее, чем простое хобби. В свои 30 лет Александер принадлежит к растущей когорте ученых, которые увлеченно занимаются сонификацией — преобразованием данных, обыкновенно представленных в числовой или визуальной форме, в звук. Человеческое ухо обладает исключительной способностью различать — зачастую гораздо лучше, чем это делает глаз, — мельчайшие отклонения в некоей стандартной

Человеческое ухо так замечательно распознает ритмы, что ученые теперь используют аудиоданные для обнаружения как раковых клеток, так и космических частиц

звуковой последовательности. Это помогает обнаруживать явления и объекты, не заметные при визуальном исследовании. Сегодня с помощью сонификации можно находить невидимые глазу области космической активности и отличать раковые клетки от нормальных.

По словам ученого-невролога Эндрю Кинга (Andrew King) из Оксфордского университета, наш слух «способен различить изменения звукового тона с задержкой в считанные миллисекунды». Для сравнения: человеческий глаз не способен различить отдельные вспышки света, происходящие с частотой более 50–60 раз в секунду. Сонификация используется не только при изучении солнечной активности и в онкологии, но и для исследования извержений вулканов, а также для определения характера изменений в частицах, из которых состоит фоновое СВЧ-излучение

космоса — реликтовое излучение Большого взрыва. Однако многие ученые пока не понимают, насколько широкие возможности открывает этот метод. «Я рассматриваю его в качестве инструмента, который еще только предстоит использовать», — говорит специалист по исследованию космоса Аарон Робертс (Aaron Roberts) из Центра космических полетов им. Годдарда (NASA).

Прислушиваясь к данным

Идея перевода научных данных в звуковую форму не нова. Счетчик Гейгера, изобретенный в 1908 г., издает щелчки в присутствии заряженных частиц. А в 1980-е гг. физик Дональд Гурнетт (Donald A. Gurnett) из Университета Айовы поразил публику записями, на которых слышен ледяной дождь вблизи Сатурна: ученый преобразовал данные, полученные с помощью аппаратов «Вояджер-1» и «Вояджер-2», в звуки ударов, производимых кусочками обледеневшей субстанции о корпус космических зондов во время их прохождения сквозь кольца Сатурна.

Как полагает невролог Бекара Сааб (Bechara Saab) из Неврологического центра Бельвю в Цюрихе, человеческое ухо способно различать сложнейшие ритмические рисунки, поскольку часть нервной системы у млекопитающих, отвечающая за передачу звуковых сигналов, быстрее проводит нервное возбуждение, чем большинство других отделов мозга. Слуховая система располагает крупнейшей контактной сетью нейронов из всех известных науке, это гигантский синапс, называемый чашечкой Гельда. Данный нейронный узел, имеющий форму чаши цветка, преобразует звуковые волны в электрические импульсы клетки, для этого чашечка способна генерировать нейромедиаторы (химические вещества, выполняющие роль информационных курьеров головного мозга) с частотой 800 раз в секунду. А вот канал визуальной информации не имеет такого скоростного соединения, говорит Сааб: «В конечном итоге эти физиологические особенности означают, что невидимые сигналы могут быть легко восприняты на слух».

Чтобы озвучить беззвучные данные, ученые используют колебания рентгеновского или гамма-излучения — или любой другой сигнал,

не видимый глазу, — и присваивают каждой частоте колебания или изменению интенсивности излучения свой звук в пределах диапазона, воспринимаемого человеческим ухом. Главная задача для исследователя состоит в том, как интерпретировать эти тональные колебания. И когда однажды в 2012 г. Александр услышал тот самый «шум», он на самом деле не имел понятия, что он может означать. Стипендиат-исследователь Годдардовского центра, астрофизик Роберт Уикс (Robert T. Wicks), предоставивший ему исходные данные, тоже этого не знал.

Но когда Уикс начал тщательно анализировать результаты измерений, проведенных за тот же период с помощью других приборов на аппарате *Wind*, он обратил внимание на их странную корреляцию со звуковыми файлами Александра. Почти каждый раз, когда на записи Александра слышался свистящий шум, Уикс фиксировал соответствующее ему увеличение плотности конкретных заряженных частиц — ионов гелия — в потоке солнечного ветра. Не исключено, что летящие ионы, спирально вращаясь вокруг линий магнитного поля, отдают часть своей энергии магнитному полю, вызывая колебания его напряженности. Такая взаимосвязь указывает на один из способов обмена энергией между полем и частицами. Это открытие, в свою очередь, может дать новый ключ к разгадке одной из наиболее сокровенных тайн Солнца, а именно почему температура в атмосфере Солнца в сотни раз выше, чем на его бурлящей поверхности.

Звуковой файл «стал открытием», говорит Уикс, в частности благодаря возможности звуковой аппаратуры сжимать информацию. Космический аппарат *Wind* измеряет магнитное поле солнечного ветра 11 раз в секунду. А на музыкальных компакт-дисках аналоговый звуковой сигнал слышимого диапазона преобразуется в цифровой с частотой 44,1 тыс. измерений в секунду (так называемая частота дискретизации). Целый год измерений напряженности поля, которые потребовали бы месяцев визуального анализа, сворачивается таким образом в двухчасовую аудиозапись.

Характерные изменения звука на аудиозаписи заставили ученых обратить внимание на существенные характеристики солнечного ветра. Два года назад Александр получил звуковой файл на основе данных, представляющих собой замеры магнитного потока солнечных частиц, полученные с другого спутника NASA для исследования сложных структур — *Advanced Composition Explorer*. Ученый перевел в звуковую форму импульсы, регистрирующие относительное содержание в потоке солнечного ветра ионов углерода двух видов: у ионов первого типа не хватало четырех электронов из шести, ионы второго типа были лишены всех шести электронов. Прислушивая файл,

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Человеческое ухо использует высокоскоростные нейронные связи в головном мозге, поэтому оно прекрасно распознает ритмические структуры в аудиоданных.
- Характерные особенности солнечного ветра, а также удаленных звезд были выявлены благодаря озвучиванию данных.
- Быстрое выявление раковых клеток также возможно путем преобразования характерных молекулярных признаков в звук.

Александр различил в нем постоянный звук частотой 137,5 Гц, близкий к до-диезу. То, что этот звук там вообще присутствовал, означало, что соотношение ионов углерода обоих типов колебалось во времени. Звуки, сопоставленные ионам разного типа, периодически сливались или, музыкально выражаясь, создавали гармонию.

«Я подробнейшим образом изучал эти данные, отслеживая на слух от 20 до 30 параметров, и понял, что в случае углерода я слышу явное созвучие, — рассказывает Александр. — Если я "слышу" углерод, но кроме меня его никто не слышит, рассуждал я, может быть, к этому стоит как следует присмотреться».

Частота упомянутого звука содержала в себе еще одну подсказку: она изменялась, согласно исходным данным с космического аппарата, в соответствии с 27-дневным циклом — за этот период Солнце делает оборот вокруг своей оси. Александр поделился своим открытием с астрофизиком Энрико Ланди (Enrico Landi) из Мичиганского университета. Тот догадался, что соотношение ионов углерода изменялось в соответствии с характером солнечного ветра, который тоже был двух типов. Ветер первого типа, «быстрый ветер», берет начало в темных, более прохладных областях атмосферы Солнца (солнечной короны), известных как «корональные дыры». Там линии магнитного поля расположены не так близко друг к другу, поэтому частицы вылетают оттуда с большей скоростью. А вот «медленный ветер» рождается в зонах с более высокой температурой, где магнитное поле плотнее.

В зонах высокой температуры и более высоких энергий «раздевается догола» (т.е. лишается всех электронов) большее количество атомов углерода, чем в более холодных слоях. В 2012 г. Ланди, Александр и их коллеги опубликовали в *Astrophysical Journal* статью, в которой утверждалось, что типы солнечного ветра лучше всего распознаются по типу ионов углерода в них. По их убеждению, эта методика должна заменить привычный способ диагностики — подсчет соотношения ионов кислорода. Знать заранее, какого типа ветер приближается к Земле, может быть важным, поскольку ветер другого типа определяет и другое состояние ионосферы, а воздействие магнитных свойств солнечного ветра может привести к различным сбоям в спутниковой связи.

«Просто слушая информацию, можно определить периодичность сигнала с большей точностью, чем с помощью любого другого математического метода», — говорит Ланди. Это открытие подтолкнуло его к исследованию звуковым методом и других солнечных характеристик. Хотя известно, что цикл солнечной активности, включая количество солнечных пятен, вспышек и прочих извержений, составляет 11 лет, некоторые ученые высказывают предположение, что иногда этот цикл длится

дольше — 19–20 лет. «Мы бы хотели применить звуковой анализ к изучению длинного солнечного цикла и сопоставить его со стандартным 11-летним циклом», — говорит Ланди.

Нездоровые шумы

Преобразование исходных данных в звук может принести и другую практическую пользу. В Англии ученые начали применять сонификацию, чтобы в экстренных случаях отличать раковые клетки от здоровых, пока патоморфолог занимается исследованием тканей, взятых у пациента.

«Система здравоохранения в Великобритании такова, что после взятия биопсии у пациента приходится очень долго ждать, пока пробу ткани доставят в лабораторию, проведут анализ и сообщат результат», — говорит Райан Стэблз (Ryan Stables), музыкант и специалист в области цифровых медiateхнологий из Городского университета Бирмингема. Из общения с коллегой, химиком-аналитиком Грэмом Клеменсом (Graeme Clemens) из Университета Центрального Ланкашира, Стэблз вынес идею — перейти от визуального метода распознавания раковых клеток к звуковому.

«Нам захотелось ускорить этот процесс и поработать с каким-нибудь пациентом из стационара или поликлиники, у которого на руках будут исходные данные для проверки клеток на злокачественность», — говорит Стэблз.

Стандартная процедура рамановской спектроскопии такова: патоморфолог направляет инфракрасный луч лазера на клеточный препарат, и под воздействием энергии излучения молекулы в клетках начинают колебаться. Разные молекулы колеблются по-разному, и эти колебания изменяют частоту фотонов, рассеиваемых образцом ткани. Цветовой спектр рассеянного света подобен отпечаткам пальцев: он с определенностью указывает на свойства молекул. Некоторые молекулы в структуре атипичных белков, присутствующих в пораженных раком тканях, обладают характерными «отпечатками», отличающимися от здоровых белков. Однако эта разница едва уловима на глаз, поэтому требуются опыт и время, чтобы отличить здоровые клетки от больных.

Такие нюансы, конечно же, лучше различать на слух. «Человеческое ухо самой природой настроено на определение ритмов и закономерностей и распознает их гораздо лучше, чем зрение», — говорит соавтор Стэблза по научной работе Доменико Вичинанца (Domenico Vicinanza), сотрудник компании DANTE (*Delivery of Advanced Network Technology to Europe*), европейского консорциума со штаб-квартирой в английском Кембридже, где проектируют и обслуживают высокоскоростные сети для науки и образования. Вичинанца говорит, что, например, человеческий глаз не улавливает разницы между светом, который

мигает с частотой 30 и 60 раз в секунду, зато ухо может отличить звук частотой 30 Гц от звука частотой 60 Гц.

Стэблз и Вичинанца «озвучили» данные спектроскопии, взяв за основу те части видимого спектра, которые указывают на различия между здоровыми и раковыми клетками, и присвоив им характерные звуки. Стэблз говорит, что ожидал услышать разницу между озвученными спектрами здоровых и раковых клеток, но отмечает: «Я был удивлен, насколько хорошо нам удалось выделить эти различия».

Во время испытаний метода с участием около 150 врачей-клиницистов им давали прослушать 300 аудиофайлов, каждый из которых представлял собой сонификацию различных образцов тканей. Как утверждает Стэблз, в 90% случаев врачи правильно определяли на слух отличия между образцами. По итогам этой работы Стэблз и его коллеги выступили с докладом на XX международной конференции по аудиальным средствам отображения информации, состоявшейся в июне прошлого года в Нью-Йорке. По словам Стэблза, в течение года его группа, вероятно, приступит к испытанию метода спектральной сонификации в реальной клинической практике.

Стэблз также полагает, что данный метод может найти применение в хирургии, где в ходе операции врач будет получать оперативную информацию о том, вся ли опухолевая ткань удалена или какие-то клетки остались. Для этого нужно будет быстро проводить спектроскопию, сонифицировать результаты анализа и транслировать их в операционную. Значит, Стэблзу и его коллегам придется подобрать звуки, их высоту и тембр таким образом, чтобы они адекватно передавали характеристики оригинального спектра. Но им также предстоит синтезировать приятные слуху тона.

«Во время высокоточного хирургического вмешательства не хочется постоянно слышать этот надоедливый писк, — говорит Стэблз. — Однако очень сложно подобрать такой тональный баланс, чтобы сигнал и не отвлекал, и в то же время качественно передавал информацию, позволяющую отличить здоровые ткани или клетки от пораженных». Однако тестирование сонификации с участием клиницистов показывает, что такой баланс успешно найден.

Состязание слуха со зрением

Несмотря на то что сонификация обладает преимуществами перед визуальной формой представления информации, Стэблз, Александер и другие специалисты по озвучиванию данных наталкиваются на одно большое препятствие: им просто-напросто трудно убедить ученых попробовать новый способ работы с информацией. С начальных классов школы «мы окружены визуальными образами — графиками и диаграммами, — говорит

Александер. — К тому времени, когда люди приходят в науку, у них в голове уже сложились некие правила синтаксиса, они понимают, как работают эти схемы, понимают их внутреннюю логику, но когда нажимаешь на кнопку *Play* и в первый раз прослушиваешь информацию, у тебя нет словаря, поэтому тебе не на что опереться».

Впрочем, в последнее время идет популяризация некоторых исследований по сонификации, что, вероятно, поможет привлечь внимание к этой методике и ее особой важности. Например, рентгеновская видеосъемка двойной звезды, кружащейся в неистовом танце вокруг общей орбиты, была преобразована в звук и стала музыкальным альбомом с афро-кубинскими ритмами, который можно приобрести на *iTunes*. В двойной звезде под названием *EX* Гидры белый карлик — старая сверхплотная звезда — сомкнулась в тесных гравитационных объятиях с большой, но обыкновенной звездой. Обе звезды вращаются одна вокруг другой, причем белый карлик «ворует» звездное вещество у своего партнера, испуская при этом в космос рентгеновские лучи, которые и были зафиксированы рентгеновской обсерваторией *NASA* «Чандра». Астрофизик Ванда Диас-Мерсед (*Wanda Diaz-Merced*), будучи полностью незрячей, применила общедоступную компьютерную программу *xSonify*, чтобы конвертировать колебания энергии рентгеновского излучения в звук. Кто-то из коллег, имеющий склонность к музыке, сообразил, что кое-что из этого можно записать нотами. Партитура сильно напомнила один музыкальный ритм, который называется «клаве» («ключ» по-испански) и используется в афро-кубинской музыке и в стиле босанова. Немецкий композитор Фолькмар Штудтрукер (*Volkmar Studtucker*), родственник одного из ученых, ухватился за эту идею и так ею проникся, что сочинил рентгеновские босанову, фугу, вальс, блюзовую композицию, джазовую балладу и несколько других произведений на основе разных мелодических фраз, полученных путем обработки рентгеновских записей. Этот альбом, на котором звучат фортепиано, бас и ударные, называется *X-ray Hydra* («Рентгенова Гидра»).

Композиции из альбома завоевали популярность у сообщества астрономов и среди других ученых, и сам этот факт звучит для Александера как музыка: «На самом деле вся сложность, в числе прочего, заключается в том, чтобы просто привлечь внимание к нашей методике, заставить все больше людей слушать». По его мнению, прослушивание данных приведет к новым открытиям. Такого рода аудиофайлы «полны коротких, с особыми нюансами, звуков, — говорит Александер, — и каждый из них — загадка для физика, которую предстоит разгадать».

Перевод: С.В. Гогин

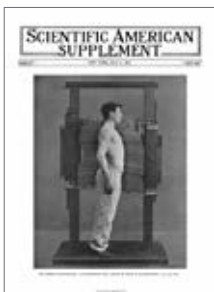


МАЙ 1965

Скифы. «В последние годы в Центральной Сибири советскими археологами были обнаружены хорошо сохранившиеся останки представителей древнего народа. Найдены они были в могильных курганах в горах Алтая, близ границы между Сибирью и Внешней

Монголией. Здесь в погребальных камерах, где царил вечная мерзлота, сохранялись от разложения мумифицированные тела древних вождей вместе с их лошадьми, предметами одежды и разнообразными вещами. Найденное на Алтае открывает нам важную древнюю культуру. Похороненные здесь всадники относились к одному из больших племен "варваров" — кочевников, живших в степях Евразии во времена Древней Греции и Древней Персии». — Михаил Артамонов.

Правда о детекторе лжи. Комитет Конгресса США представил доклад, в котором выражаются серьезные сомнения в достоверности результатов проверки на «детекторе лжи» (полиграфе), а также осуждается федеральное правительство за беспорядочное проведение подобных проверок. Главное заключение комитета: «Не существует "детектора лжи" — ни машины, ни человека». В докладе указывается, что полиграф — это прибор, регистрирующий дыхание человека, давление крови и пульс, а также его «кожно-гальваническую реакцию». Все это физиологические реакции, которые могут не иметь отношения к виновности или невиновности.



МАЙ 1915

Потоплена «Лузитания». Потопление парохода «Лузитания» — ужасающий пример жестокости, которая, как мы считали, осталась в давно ушедшей эпохе. Одним из самых поразительных психологических феноменов настоящей войны стала та лицемерная софистика,

к которой прибегает Германия, пытаясь оправдать свои многочисленные нарушения гуманитарных законов и обычаев войны; но более всего потрясает тот факт, что сегодня Германия оправдывает подобное массовое убийство невинных граждан утверждением, что она предупреждала их о своих намерениях совершить такого рода действие. Это уже какая-то новая философия!

Ядовитый газ для войны. В нынешней войне в Европе применение знаний начинается, похоже, достигать высочайшего уровня изобретательности.

Происходящее почти уже можно называть химико-физической войной. Последнее достижение — изготовление отравляющих газов для их боевого применения (на илл.). Судя по докладам, к настоящему времени уже использовался газ хлор. Его характерные признаки — желтовато-зеленый цвет, резкий запах, а также большая плотность, из-за которой этот газ стелется по земле. Пораженные им описывают те же самые симптомы, что и заводские рабочие, которые получили отравление хлором во время производственных аварий.



МАЙ 1865

Пулемет Гатлинга. Это изобретение обещает совершить революцию в военном искусстве. Как показали испытания, проводившиеся под контролем офицеров артиллерийско-технической службы, скорострельность нового пулемета (картечицы) составила три выстрела

в секунду, а выпущенные из него пули превосходили по пробивной способности винтовку Спрингфилда. Признано, что пулемет м-ра Гатлинга (Richard J. Gatling) с расчетом из двух человек может произвести на дистанции 400 ярдов (365,6 м) больше выстрелов, чем 100 стрелков. Роторный блок этого пулемета из шести стволов и соединенных с ними затворов нужно непрерывно вращать, и когда каждый из стволов доходит до определенной точки, происходит выстрел. В пулемете используются унитарные патроны (с металлической гильзой), которые свободно подаются в патронники из расположенного сверху магазина.

Вяленое мясо. Южноамериканская вяленая (т.е. высушенная на воздухе) говядина в больших количествах экспортируется в Англию, где ее потребляют беднейшие группы населения; там она продается по шесть-десять центов за фунт (или по три

пенса в английских деньгах). Не очень изысканная еда, однако это лучше, чем вообще остаться без мяса. ■

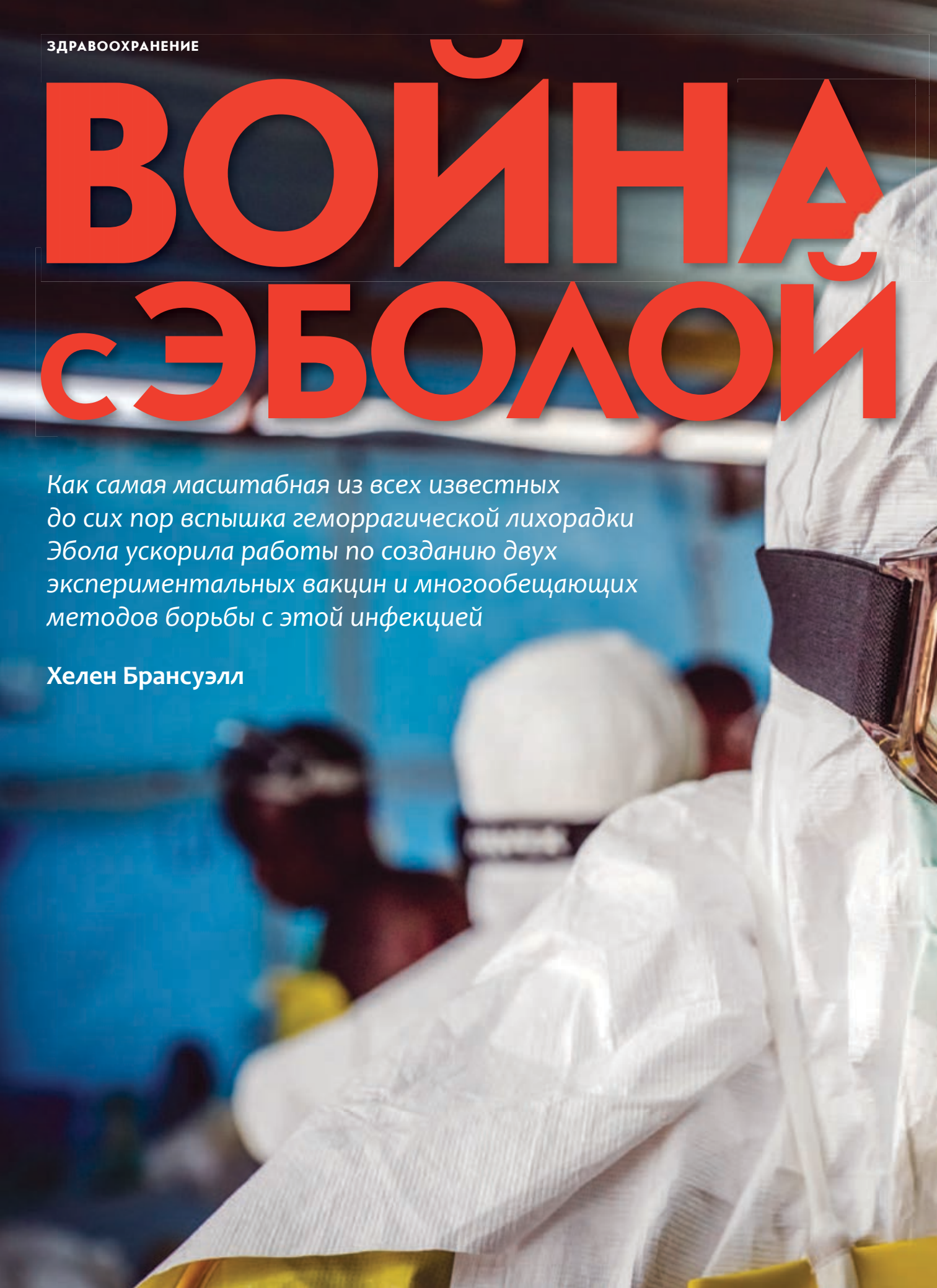


Газовая война. Германские войска впервые используют на поле боя отравляющий газ хлор, 1915 г.

ВОЙНА с ЭБОЛОЙ

Как самая масштабная из всех известных до сих пор вспышка геморрагической лихорадки Эбола ускорила работы по созданию двух экспериментальных вакцин и многообещающих методов борьбы с этой инфекцией

Хелен Брансуэлл





Доспехи — как на войне:
прежде чем войти в палатку
госпиталя в Монровии, где
лежат больные лихорадкой
Эбола, медицинские работники
надевают специальные комби-
незоны, обувь, перчатки и очки

ОБ АВТОРЕ

Хелен Брансуэлл (Helen Branswell) — репортер национального информационного агентства Канады *Canadian Press*, пишущая на научные темы. Ее интерес к новым заболеваниям возник после того, как она написала несколько репортажей об эпидемии тяжелого острого респираторного синдрома (ТОРС), известного в СМИ под названием «атипичная пневмония», в 2003 г.



Б

иологи часто говорят о своеобразном соревновании между вирусом Эбола и организмом инфицированного человека. Последний выиграет гонку только в том случае, если его иммунная система обезвредит вирус до того, как он выведет из строя важнейшие системы и органы. Отдельно взятая популяция победит, если сумеет немедленно изолировать первых зараженных. Человечество в целом одержит верх, если будут разработаны эффективные способы лечения больных и созданы вакцины, прежде чем вирус обсохнет в городах по всему земному шару.

Многие годы вирус Эбола оставался в тени: вспышки инфекции охватывали небольшое число людей (обычно менее 100) и длились недолго (менее пяти месяцев). При таких масштабах и за столь короткое время биологи не могли провести тестирование возможных способов противодействия инфекции. К тому времени, когда они были готовы к клиническим испытаниям на месте, вспышка затухала. Фармацевтические компании и исследовательские группы не считали нужным тратить деньги на поиски способов борьбы с заболеванием, которое, несмотря на угрожающую летальность, за 40 лет унесло жизни «всего» 1,6 тыс. человек. В то же время в одном только 2013 г. жертвами малярии, туберкулеза и СПИДа стали более 3 млн человек.

Такой основанный на холодном расчете подход показал свою несостоятельность, когда в Западной Африке произошла невиданная по масштабу вспышка геморрагической лихорадки Эбола. К середине января 2014 г. в Сьерра-Леоне, Либерии и Гвинее были больны 21 тыс. человек и еще более



Безжалостный убийца: уход за больными или похороны умерших оборачиваются еще большим распространением вируса

8,5 тыс. скорее всего умерли от этой инфекции. Авторитетные эксперты в области здравоохранения, осознавшие, что дальнейшее бездействие может привести к распространению вируса далеко

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- До тех пор пока вспышки лихорадки Эбола были спорадическими и не имели масштабного характера, у эпидемиологов не было возможности тестировать экспериментальные вакцины или лекарственные средства.
- Эпидемия в Западной Африке — крупнейшая из известных до сих пор — в корне изменила ситуацию, и теперь иммунологи прилагают беспрецедентные усилия к тому, чтобы обезвредить безжалостного убийцу. Так, они уже проводят испытания экспериментальных вакцин и даже применяют их на практике в надежде спасти как можно больше жизней.
- Во время эпидемии было решено использовать несколько экспериментальных лекарственных средств и вакцин.



Чтобы выжить: работника похоронной бригады опрыскивают дезинфицирующим раствором после того, как он выносил из домов тела умерших (1); санитар направляется к дому, где жил больной, чтобы произвести дезинфекцию (2); члены семьи приветствуют Гармаи Сайон (в центре), излечившуюся от лихорадки Эбола (3)

а если получится достичь желаемого результата прямо сейчас, то можно быть уверенными, что вирусу не удастся одержать верх, если он снова атакует человечество.

Коварный убийца

Может показаться невероятным, что после вирусного цунами, бушевавшего более 15 месяцев,

за пределы эндемичной зоны, выступили с обращением к медицинскому сообществу и политикам, убедительно прося принять все меры к выявлению и изоляции носителей вируса и больных, создать специализированные центры неотложной помощи и команды по захоронению умерших.

Впервые эпидемиологи получили возможность проводить масштабные клинические испытания, чтобы найти оптимальные способы лечения из всех существующих, хотя надеяться на полный успех не приходилось в отсутствие вакцин и новых препаратов. Медицинское сообщество впервые пришло к согласию, что перед лицом такой серьезной угрозы следует прибегнуть к некоторым экспериментальным лекарственным средствам. Это могло оказать неоценимую услугу при последующих — весьма вероятных — вспышках инфекции,

многое о вирусе Эбола остается неизвестным: где находится резервуар инфекции, при каких обстоятельствах вирус атакует человека и почему многие избегают заражения. (Во время этой вспышки каждый инфицированный передавал вирус одному-двум индивидам, в то время как от больного корью заражаются обычно 18 человек.)

Вирус Эбола не относится к числу высококонтагиозных, однако по своей агрессивности не имеет равных. К концу 2014 г. 70% инфицированных жителей Западной Африки не смогли противостоять вирусу и заболели в первые несколько дней после заражения — вопреки представлениям экспертов о ходе инфекционного процесса.

То, насколько быстро вирус одерживает верх над организмом человека, зависит по крайней мере от двух факторов: числа вирусных частиц,

проникших внутрь тела, и скорости их попадания в ткани и жидкости. Как только первые несколько вирусных частиц преодолевают межвидовой барьер — в основном между человеком и крыланом, одним из ближайших родственников летучих мышей, — дальнейшее их распространение в организме инфицированного происходит очень быстро. Многие заражаются во время ритуальной процедуры подготовки к погребению близких родственников, уходе за больными, которые страдают диареей и неукротимой рвотой. Через грязные руки вирус попадает в нос, рот, глаза. А если сразу много частиц проникают в кровоток при инъекции, то, по словам Томаса Гейсберта (Thomas Geisbert), микробиолога Медицинского центра при Университете штата Техас в Галвестоне, «ничто вас не спасет, вы обречены».

Узнать о путях распространения вируса в организме можно по результатам вскрытия умершего, но мало кто из жертв вируса Эбола подвергался этой процедуре по причине высокого риска заражения при манипуляциях с трупом. За всю почти 40-летнюю историю этого заболевания было всего 29 случаев вскрытия или посмертного анализа образцов тканей.

Тем не менее исследования на животных и немногочисленные патологоанатомические данные говорят о том, что вирус Эбола поражает в первую очередь иммунную систему. Как и другие вирусы, он использует механизмы пораженной клетки для своего воспроизведения. Среди его основных мишеней — дендритные клетки, которые «патрулируют» все органы и ткани в поисках чужеродных агентов, и макрофаги, разрушающие поврежденные (в том числе инфицированные) клетки. Однако вирус Эбола вовсе не стремится избежать встречи с этими компонентами иммунной системы. Он проникает в них и использует в своих целях. Это приводит к двум последствиям: во-первых, вирус выводит из строя клетки, в норме запускающие иммунный ответ, во-вторых, использует их в качестве транспортного средства, с помощью которого проникает в лимфатические узлы, печень, селезенку и другие органы.

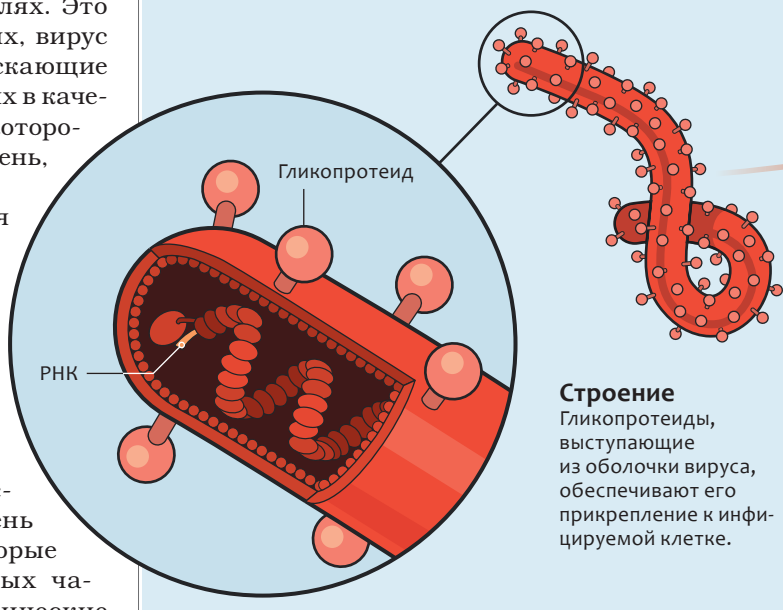
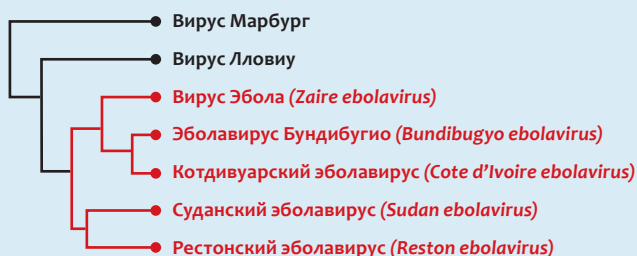
Если такие «партизанские» действия не дают желаемых результатов, вирус прибегает к другой уловке, позволяющей ослабить иммунный ответ: он использует приманку, отвлекающую иммунную систему от выполнения ее прямой функции, заставляя инфицированную клетку вырабатывать и высвобождать в кровоток в больших количествах вещество под названием растворимые гликопротеиды (рГП). Они очень похожи на те гликопротеиды (ГП), которые располагаются на поверхности вирусных частиц и на которые нацелены специфические

КАК ВИРУС ЭБОЛА ДЕЛАЕТ СВОЕ ЧЕРНОЕ ДЕЛО

В самом начале инфекции вирус выпускает залп смертельно опасных веществ двойного назначения, выводящих из строя иммунную и кровеносную системы. Проникнув в них, он бурно размножается в клетках всех других систем и органов, а коллапс сосудистой системы и последующее кровотечение открывают новые возможности заражения других людей.

Что такое вирус Эбола?

Член семейства филовирусов (названных так потому, что вирусные частицы принимают различные нитевидные формы), вирус Эбола содержит одноцепочечную РНК и связанные с ней белки; все вместе они заключены в жировую капсулу. К настоящему времени идентифицированы и выращены в культуре два члена семейства — вирус Эбола и вирус Марбург. Секвенированы гены третьего члена — вируса Ллови, но сам он пока недостаточно охарактеризован. Из пяти известных штаммов вируса Эбола (ниже) только рестонский не приводит к заболеванию людей, которых он инфицировал.



В чем сила вируса Эбола?

Как именно вирус инфицирует клетку — до конца неизвестно. Но опыты на приматах (исключая человека) свидетельствуют о том, что его мишенью становятся клетки первой линии обороны иммунной системы, а это парализует всю ее работу. По мере размножения вирус начинает атаковать кровеносные сосуды и различные органы (не показано).

Атака на клетки иммунной системы

Прежде всего вирус атакует дендритные клетки, которые циркулируют по всему организму в поисках чужеродных агентов, и макрофаги, оповещающие другие компоненты иммунной системы о наличии патогена. Кроме того, последние секретируют в окружающую среду цитокины, которые запускают воспалительную реакцию. Инфицировав вездесущие дендритные клетки, вирус быстро проникает вместе с ними (при этом бурно размножаясь) в разные органы — печень, поджелудочную железу, селезенку и т.д. Разрушение первой линии обороны приводит к неполадкам в работе иммунной системы в целом, и вирус получает полную свободу.

Проникнув в клетку, вирус начинает размножаться, используя свои собственные механизмы и механизмы клетки-хозяина.

Выброс избыточного количества цитокинов приводит, помимо всего прочего, к сверхпродукции факторов свертывания крови. В одних частях кровеносной системы образуется большое количество сгустков, в других начинается утечка крови.

Подтекающие кровеносные сосуды перестают снабжать органы и ткани питательными веществами в достаточном количестве, и они перестают функционировать. Через повреждения в стенках сосудов в кровь попадают кишечные бактерии, в том числе патогенные, и в результате начинается заражение крови — сепсис.

Клетки печени и других органов

Иммунная система приходит в хаотичное состояние, а в это время вирус беспрепятственно размножается в печени, селезенке и других органах.

Избыточное образование цитокинов провоцирует гибель многих клеток иммунной системы, в том числе вырабатывающих антитела, которые могли бы участвовать в нейтрализации вируса.

Они же транспортируют его в кровеносные сосуды.

Выброс фальшивых мишеней

Вирус запускает в инфицированной клетке синтез растворимых гликопротеидов (рГП), напоминающих по структуре поверхностные гликопротеиды (антигены) самого вируса; рГП играют роль приманки, заставляющей иммунную систему синтезировать все больше антител, нацеленных на мишень-пустышку, а не на вирусные антигены.

Внутри тела вирус попадает через ранки и порезы на коже, загрязненные иглы для инъекций, слизистую носоглотки и глаз. После этого вирус трудно остановить.

Инфицированные иммунные клетки доставляют вирус в лимфатические узлы.

Дендритная клетка

Макрофаг

Нападение на иммунную систему → Нарушение работы сосудистой системы → Выведение из строя жизненно важных органов

Возможные способы борьбы с инфекцией

Медицинские работники должны носить специальную одежду, закрывающую все тело и лицо; работники социальных служб — выявлять и в случае необходимости изолировать лиц, контактировавших с зараженным, прежде чем они успеют передать вирус другим; похоронные службы — соблюдать все меры безопасности, чтобы не заразиться от умершего, и проводить захоронение без утечки вируса. Только что инфицированным может помочь внутривенное введение антител, полученных от выздоровевших или синтезированных в лаборатории (например, ZMapp; справа), а также противовирусных препаратов и вакцин.



Многократное введение антител (путем трансфузии крови выздоровевших или инъекции искусственных антител) блокирует гликопротеиды на поверхности вирусных частиц, предотвращая их прикрепление к клетке-хозяину.

компоненты иммунной системы. Теперь последние связываются не только с ними, но и с рГП, отвлекая защитные силы организма на борьбу с пустышкой.

Новые лекарственные средства

В ходе последней вспышки лихорадки Эбола врачи приобрели некоторый практический опыт борьбы с вирусом. Давно известно, что, хотя и с определенной задержкой, иммунная система включает все свои рычаги и может одолеть вирус, если у нее будет достаточно времени. Как показывает опыт, время можно выиграть, если при первых же симптомах инфекции вводить больному внутривенно соответствующие жидкости. Так, ВОЗ одобрила внутривенное введение некоторым пациентам крови выздоровевших, которая по определению содержит антитела к вирусу, хотя никто не знает, работает ли такая методика.

Рискованное решение поддержать применение терапии, не прошедшей стандартной проверки, иллюстрирует всю катастрофичность ситуации в Западной Африке. Но, помимо всего прочего, это решение имело и теоретическое значение. Сыворотку крови выздоровевших больных с успехом использовали в 1920–1930-х гг. при вспышках полиомиелита и во время пандемии гриппа в 1918 г. А сегодня Фонд Билла и Мелинды Гейтс начал финансирование клинических испытаний сыворотки крови переболевших лихорадкой Эбола людей в Гвинее.

Конечно, в наши дни благодаря успехам биотехнологии необходимые антитела можно получать в лаборатории, и это уже делается. Один из примеров — препарат под названием *ZMapp*, состоящий из трех моноклональных антител, специфичных в отношении антигенов вируса лихорадки Эбола. *ZMapp* приобрел необычайную популярность прошлым летом, после того как его впервые апробировал на себе Кент Брантли (Kent Brantley), американский врач-миссионер, заразившийся вирусом Эбола в Либерии. Перед первой трансфузией он находился в тяжелом состоянии, но быстро пошел на поправку и уже на следующий день смог принять душ. Препарата, имевшегося в его распоряжении, хватило менее чем на дюжину курсов (один курс состоит из трех трансфузий), и через неделю-другую эти скудные запасы закончились.

ZMapp находился на ранних стадиях разработки — проводились опыты только на животных, — и к моменту начала эпидемии в Западной Африке о коммерческом его производстве речи не шло. С тех пор работа значительно продвинулась, и есть надежда, что уже во втором квартале 2015 г. удастся организовать клинические испытания. Но даже если эффективность *ZMapp* будет доказана, вряд ли его хватит на всех, кто будет в нем нуждаться в ближайшем будущем.



Мир пристально следит за развитием событий: демонстранты в Лондоне требуют от британского правительства принятия более решительных мер в борьбе с вирусом Эбола

Иммунологи из Национальной микробиологической лаборатории в Канаде и Национального института алергологии и инфекционных заболеваний в США (NIAID) создали коктейль из антител и продали лицензию на его производство фирме *Mapp Biopharmaceutical*, которая в свою очередь заключила контракт с компанией *Kentucky BioProcessing* на получение антител с помощью генетически модифицированных растений табака. Последняя может производить антитела в количестве, достаточном для проведения 17–25 курсов, за один прием: 12 недель уходит на выращивание табака и еще две — на получение продукта.

Предпринимаются попытки существенно повысить эффективность второго этапа. Правительство США после консультаций с экспертами по оказанию неотложной помощи рассматривает возможность создания производства, при котором выход *ZMapp* был бы в четыре-пять раз выше, чем сейчас. Параллельно проводятся опыты на приматах (исключая человека) с тем, чтобы выяснить, можно ли уменьшить объем вводимого раствора или число инфузий без ущерба для эффективности терапии.

Вакцина или жизнь!

На осознание истинных масштабов распространения вируса Эбола ушло так много времени, что сегодня эпидемия предстает в виде огромного числа микровспышек с разными эпидемиологическими характеристиками. Работники здравоохранения, военнослужащие, местные власти предпринимают героические усилия, чтобы спасти как можно больше жизней и сдержать распространение инфекции. Ведь чем дольше продлится эпидемия, тем выше вероятность распространения вируса на другие регионы Западной Африки. Кроме того, парализующее действие эпидемии на систему здравоохранения пораженных им стран может создать условия для вспышек других инфекционных заболеваний — кори и даже полиомиелита.

На осознание истинных масштабов распространения вируса Эбола ушло очень много времени, и сегодня эпидемия предстает в виде огромного числа микровспышек с разными эпидемиологическими характеристиками

Противостоять подобным угрозам могут только разработка, тестирование и распространение эффективной вакцины — что невозможно было сделать во время предыдущих непродолжительных и маломасштабных вспышек. По мере взрывообразного увеличения числа заболевших в конце прошлого лета в Гвинее, Либерии и Сьерра-Леоне становилось все более очевидно, что единственный способ предотвратить подобную катастрофу в будущем — создать мощную вакцину.

В конце 2014 г. на нескольких сотнях волонтеров из США, Канады, стран Европы и различных не затронутых эпидемией регионов Африки были проведены испытания на безопасность двух экспериментальных вакцин — *cAd3-EBO* и *rVSV-ZEBOV*. Более масштабные испытания с участием тысяч людей планируется провести в Либерии, Сьерра-Леоне, а затем в Гвинее.

Случай беспрецедентный: работа, обычно занимающая от пяти до десяти лет (тестирование и массовое производство вакцины), должна быть выполнена менее чем за год. И здесь вновь встает вопрос: теперь, когда вспышка пошла на убыль, найдется ли достаточное количество людей — участников испытаний, чтобы можно было не сомневаться в эффективности потенциальных вакцин?

Никто не желает возврата эпидемии. Но реальность такова, что ответить на этот вопрос можно лишь в том случае, если экспериментальный препарат будет работать на месте. Если число заболевших будет уменьшаться медленно, то клинические испытания в Либерии с участием 27 тыс. человек следует сделать более масштабными, увеличив финансирование. Но тогда и результата придется ждать дольше.

Организаторы испытания намереваются пойти другим путем. Об этом заявил Чарлз Линк — младший (Charles Link, Jr.), президент *NewLink Genetics*, базирующейся в Айове биотехнологической компании, которая разработала вакцину *rVSV-ZEBOV* в сотрудничестве с фармацевтическим гигантом *Merck*. Планируется сосредоточиться на тех регионах Либерии, где заболеваемость выше средней. «С лихорадкой Эбола не бывает простых решений, — говорит Линк. — Слишком сложное это заболевание».

Вакцина компании *NewLink* создана на основе видоизмененного вируса везикулярного стоматита (*VSV*) и содержит в небольшом количестве ключевой поверхностный белок вируса Эбола. *VSV* вызывает недомогание у крупного рогатого скота, но для человека неопасен. Он лишь стимулирует иммунную систему к выработке антител против поверхностного белка вируса Эбола.

Другая вакцина, *cAd3-EBO*, была создана иммунологами из *NIAID*, а компания *GlaxoSmithKline* получила право на ее производство. Она представляет собой инактивированную вакцину на основе одного из генетически модифицированных аденовирусов шимпанзе, который синтезирует ключевой поверхностный белок вируса Эбола. У обеих вакцин есть свои плюсы и минусы. Тестирование продукта *GlaxoSmithKline* проводилось на более высоком уровне, зато *VSV*-вакцину проще получать, и к концу декабря ее было наработано гораздо больше, чем вакцины *GlaxoSmithKline*.

К тому же последняя, по-видимому, не обеспечивает достаточной защиты при введении одной дозы. Режим с последовательной иммунизацией, особенно если в первом и втором случаях применяются разные вакцины, невероятно сложно реализовать в первую очередь по причине несовершенства инфраструктуры здравоохранения в пострадавших странах. Есть основания полагать, что с вакциной *NewLink* такой проблемы не будет, но она может вызывать побочные эффекты — небольшое повышение температуры, озноб, боль в мышцах, головную боль; точно такие же симптомы предшествуют лихорадке Эбола. Там, где на этих симптомах строится диагностика инфекции, отличить заболевших от здоровых вакцинированных будет затруднительно.

Испытания в Либерии планируется проводить следующим образом. Участников разделят на три группы по 9 тыс. человек. Одна группа будет получать вакцину *GlaxoSmithKline*, другая — *NewLink*, третья — плацебо (возможно, дозу вакцины против гриппа или против гепатита В). Целый ряд известных экспертов высказались на страницах журнала *Lancet* и других изданий в том духе, что проведение плацебо-контролируемых испытаний в условиях эпидемии неэтично. Но Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (*FDA*), которому предстоит принимать решение о применимости вакцины в США, настаивает на плацебо-контроле. «Мы должны выяснить, что приносит пользу, а что нет, в кратчайшие сроки, — говорит Лусиана Боррио (*Luciana Borio*), руководитель подразделения *FDA*, занимающегося проблемами вспышки лихорадки Эбола. — Это очень важно для будущих поколений, и мы обязаны выполнить возложенную на нас задачу».

В испытаниях новых вакцин предполагается участие 9 тыс. человек; их будет финансировать Фонд Билла и Мелинды Гейтс

Джереми Фаррар (*Jeremy Farrar*), директор Британского благотворительного фонда *Wellcome Trust*, который финансирует клинические испытания целого ряда лекарственных препаратов и вакцин, намеревается использовать инновационные схемы вакцинации — так называемые дизайн ступенчатого клина и кластерный рандомизированный дизайн, которые обеспечивают в конечном счете вакцинацию каждого, хотя можно обойтись и испытаниями с плацебо-контролем. По мнению Фаррара, «когда вы используете вакцину, не будучи уверены в ее безопасности и эффективности, и вводите ее здоровым людям, есть веские основания прибегнуть к одному из упомянутых выше дизайнов либо к плацебо-контролю».

Организаторы испытаний в Сьерра-Леоне предпочли дизайн ступенчатого клина, при котором одни испытуемые получают вакцину раньше других. Критерием эффективности служит меньшее число заболевших среди тех, кто получил вакцину первыми, по сравнению с получившими ее вторыми. Преимущество такой схемы — то, что вакцинации подвергаются все, а недостаток — растянутость процедуры во времени.

В Гвинее предполагается использовать более простую кольцевую технологию по причине еще меньшей развитости системы здравоохранения,

чем в соседних странах. По словам Мари-Поль Кини (*Marie-Paule Kieny*), директора ВОЗ по вопросам разработки вакцин и лекарственных средств против лихорадки Эбола, «в испытаниях примут участие медицинские работники в рамках наблюдательного эксперимента». Кольцевая технология, которая когда-то помогла искоренить натуральную оспу, заключается в вакцинации тех, кто составляет ближайший круг людей («кольцо»), контактировавших с заболевшим. Всех участников разделяют на две большие группы. В одной вакцину в каждом кольце будут получать раньше, чем во второй. Всего в испытаниях предполагается участие 9 тыс. человек; их будет финансировать Фонд Билла и Мелинды Гейтс.

На разных стадиях разработки находятся еще несколько вакцин. Некоторые из них по крайней мере столь же многообещающие, как и вакцины *GlaxoSmithKline* и *NewLink*. Одна, разработанная компанией *Johnson & Johnson*, уже проходит испытания на безопасность. Но все эти более поздние вакцины столкнутся с суровой экономической реальностью. В соревнованиях за создание эффективной вакцины против смертельно опасного вируса те, кто занимает четвертую или пятую позицию, вряд ли выиграют. Рынок вакцин против вируса Эбола будет весьма ограниченным. «Те, кто придут на рынок после первых двух, получают шанс, если кто-то из предыдущих потерпит неудачу», — говорит Кини.

Конечно, вероятность неудачи всех уже имеющихся экспериментальных вакцин не исключена. Несмотря на то что эпидемия пошла на убыль, она не находится под контролем. В большинстве регионов Либерии число новых случаев заражения падает, но на западе и севере Сьерра-Леоне инфекция продолжает распространяться. Пока число вновь заболевших не упадет до нуля, угроза новой вспышки не исчезнет.

В 2014 г. от лихорадки Эбола умерли тысячи людей. Несмотря на колоссальные усилия врачей, местных властей, добровольцев, в 2015 г. будут новые жертвы. Но теперь мы знаем, что в соревновании с вирусом нужно действовать еще быстрее, и нам известно, что для этого нужно делать. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Доклад ВОЗ о положении дел с эпидемией лихорадки Эбола см. по адресу: <http://who.int/crs/disease/ebola/situation-reports/en>
- *Camouflage and Misdirection: The Full-On Assault of Ebola Virus Disease*. John Misasi and Nancy J. Sullivan in *Cell*, Vol. 159, No. 3, pages 477–486; October 23, 2014. [www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674\(14\)01293-8.pdf](http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674(14)01293-8.pdf)

ОБ АВТОРЕ

Клаудиа Уоллис (Claudia Wallis) — обладатель высшей награды в области научно-популярной журналистики. Ее статьи печатались в журнале *Time*, *Fortune*, *New York Times* и многих других изданиях.



Клаудиа Уоллис

Революция в лечении коленных суставов

Новые методы репарации основаны на использовании внутренних резервов организма

Внимательно наблюдая за формированием серповидной структуры в 3D-принтере Медицинского центра Колумбийского университета, можно составить представление об одном из перспективных методов устранения повреждений коленного сустава. Наносимые слой за слоем бусины полимера белого цвета создают каркас мениска — хрящевого полукруглого образования, который служит в суставе амортизатором. Биопринтер в лаборатории Джереми Мао (Jeremy Mao) формирует три таких каркаса за 16 минут.

Метод успешно протестирован на овцах, чей коленный сустав по своей структуре близок к нашему. Его суть заключается в следующем. Вначале с помощью магнитно-резонансной томографии сканируют неповрежденный мениск животного в здоровом суставе. Затем создают 3D-модель мениска, ее распечатывают на 3D-принтере, получая каркас, совпадающий по форме и размерам с каркасом здорового мениска. Каркас заполняют двумя белками, фактором роста соединительной ткани и трансформирующим фактором роста β -3, и имплантируют в поврежденный коленный сустав. Заполняющие каркас белки стимулируют стволовые клетки организма к регенерации ткани мениска. Каркас, состоящий из биodeградируемого материала, разрушается, и его компоненты выводятся из организма. В работе, опубликованной в декабре 2014 г., сообщается, что процесс регенерации у овец занимает четыре-шесть недель. Если такие же хорошие результаты даст апробирование

нового метода на человеке, это будет огромным шагом вперед в устранении самой частой травмы коленного сустава. Сегодня в большинстве случаев все сводится к сшиванию небольших разрывов мениска, при больших разрывах удаляют весь мениск. «То, что собираемся делать мы, — по сути, регенерация», — поясняет Мао.

Эксперимент на суставе овцы — часть более широкого направления хирургии опорно-двигательного аппарата. Его задача — привлечь к устранению повреждений собственные резервы организма. Этот метод более функциональный, щадящий и надежный, чем все существующие. Конечно, с помощью последних удалось поставить на ноги многих людей, в том числе и спортсменов, но восстановление не бывает полным, и спустя какое-то время возникают новые проблемы.

По неизвестным причинам повреждение основных стабилизирующих структур коленного сустава часто запускает процесс дегенерации, что



приводит к разрушению суставного хряща и хронической боли. Задача пострегенеративного лечения — восстановить работу суставов в полном объеме естественным путем, что может уменьшить или полностью устранить риск артрита. «Это залечивание и регенерация, а не удаление

поврежденной структуры и замена новой», — говорит Марта Марри (Martha M. Murray), заведующая Лабораторией спортивной медицины в Бостонской детской больнице.

Потребность в новых методах лечения больных с поврежденными коленными суставами огромна. С данной проблемой к хирургам ежегодно обращаются 5,5 млн жителей США. Примерно 1 млн подвергается хирургическому вмешательству в амбулаторных условиях, а еще 700 тыс. приходится заменять сустав на искусственный.

Почему суставы так трудно лечить?

Появлению новых подходов к устранению повреждений суставов предшествовали исследования по выяснению причин, по которым суставные соединительные ткани — сухожилия, связки и хрящи — залечиваются с таким трудом. Основная проблема заключается в том, что многие из этих структур относительно слабо снабжаются кровью, в которой содержатся необходимые для репарации вещества.

Сухожилия, упругие, малорастворимые «канаты», при помощи которых мышцы прикрепляются к костям, и связки, плотные, обладающие определенной растяжимостью образования, соединяющие кости друг с другом, — самые слабо васкуляризованные ткани организма. Что касается хрящей — например, гладкого беловатого вещества на концах костей, — то большинство из них вообще не снабжаются кровью. «Таким образом, хрящи практически не способны к заживлению», — говорит Скотт Родео (Scott Rodeo), хирург-ортопед из отделения спортивной медицины в клинике частной хирургии в Нью-Йорке и член группы медиков, опекающих команду американского футбола *New York Giants*.

Иногда лоскуты разорванного мениска сшивают, особенно если разрыв приходится на наружную его часть, имеющую собственную систему кровеносных сосудов, но обычно поврежденный участок просто удаляют. В 2013 г. по результатам масштабных исследований такая процедура была признана сомнительной, имеющей долгосрочные нежелательные последствия. Гораздо труднее сшить края разрыва во внутренней части крестообразной связки (*anterior cruciate ligament, ACL*), расположенной глубоко в коленном суставе и часто травмируемой у спортсменов. Вместо этого приходится удалять связку и заменять ее имплантом от какого-нибудь животного или из тела самого пациента.

Еще одна причина плохого залечивания разрыва *ACL* — ее специфическое расположение в суставной сумке, заполненной синовиальной жидкостью. Заживление ран обычно начинается с образования кровяных сгустков. Клетки сгустков, тромбоциты, высвобождают специфические белки,

способствующие заживлению; кроме того, склеиваясь, сгустки создают временный каркас, который заполняется новыми клетками. Синовиальная жидкость растворяет сгустки, и никаких предпосылок к заживлению не возникает.

Секрет саморепарации

Хирурги-ортопеды неоднократно предпринимали попытки привлечь внутренние ресурсы организма к заживлению хрящевой ткани, связок и сухожилий. В последние годы они обратились к тому, что получило название *biologics*, — препаратам, получаемым из крови или тканей пациента. Один из таких препаратов — плазма крови, обогащенная тромбоцитами (*platelet-enriched plasma, PRP*). Впервые ее использовали в челюстно-лицевой хирургии для ускорения регенерации костей и мягких тканей челюстей.

Несмотря на блестящие перспективы в лечении поврежденных суставов, следует помнить, что лучше стараться вообще избегать травмирования, максимально защищая колени. Но если кому-то не повезет, он уже сегодня может рассчитывать на квалифицированную помощь с применением новейших технологий

PRP получают из крови пациента. Отобранную кровь подвергают центрифугированию, чтобы повысить концентрацию тромбоцитов в плазме, и вводят *PRP* в полость поврежденного сустава либо применяют при хирургическом вмешательстве. *PRP* насыщена факторами роста и другими веществами, способствующими заживлению. Показано, что она устраняет воспаление сухожилий, уменьшает боль в суставах при артрите; но поможет ли она при тех проблемах, для решения которых исходно предназначалась, до конца не ясно.

Новейшие биопрепараты получают из костного мозга, а не из крови. Они богаче стволовыми клетками. Для этого с помощью тонкой иглы отсасывают у пациента нужное количество костного мозга и тоже подвергают центрифугированию, чтобы повысить концентрацию активных веществ. Из концентрата (*bone marrow aspirate concentrate, BMAC*) получают плотный сгусток, которым заполняют трещины в хрящах, а также используют для фиксации и питания пересаженной ткани. Ветеринар Лайза Фортье (*Lisa Fortier*) из Корнеллского

университета применила *BMAC* для залечивания хрящевой ткани у скаковых лошадей. Материал выполнял тройную функцию: служил временным каркасом, высвобождал стволовые клетки, регенерирующие ткань, и факторы роста, регулирующие регенерацию. Исследования на людях и лошадях показывают, что структура хряща, восстановленного с помощью *BMAC*, ближе к нормальной, чем в результате применения каких-либо других методов.

Поскольку *PRP* и *BMAC* получают из тканей самого пациента и применяют для его же лечения, никаких разрешений от Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (*FDA*) не требуется, нужно провести лишь минимальное тестирование. «Исследовать эти препараты затруднительно, поскольку они неодинаковы у разных пациентов, — говорит Родео. — Но, проведя дополнительные эксперименты,

мы разработали более изощренный подход. Он состоит в идентификации факторов в аспирате костного мозга и *PRP*, которые мы хотим сохранить, и факторов, от которых хотим избавиться, и в соответственной модификации препаратов».

К сожалению, биоматериалы, о которых мы говорили, не могут служить каркасом при репарации поврежденного мениска или *ACL*, что и побуждает хирургов прибегать к 3D-принтерам и искать другие подходы. Так, Марри попробовала использо-

вать небольшой цилиндр из губчатого материала на основе коллагена, который служит основой соединительной ткани, в качестве каркаса при репарации поврежденной *ACL*. Губку пропитали кровью пациента и поместили в место разрыва, создав мостик между его концами, аналогичный кровяному сгустку. Испытания метода на свиньях дали такие хорошие результаты, что Марри получила разрешение *FDA* на проведение испытаний на людях. Стоит отметить еще один положительный момент нового подхода: у свиней, пролеченных этим методом, артрит развивается гораздо реже, чем при традиционном лечении.

Несмотря на блестящие перспективы в лечении поврежденных суставов, следует помнить, что лучше стараться вообще избегать травмирования, максимально защищая колени. Но если кому-то не повезет, он уже сегодня может рассчитывать на квалифицированную помощь с применением новейших технологий. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

НАШЕ ПРОЗРАЧ

В век цифровых технологий никакой секрет не будет надежным,



НОВОЕ БУДУЩЕЕ

а наши институты ждут изменения по дарвиновскому принципу



ОБ АВТОРАХ

Дэниел Дэннет (Daniel C. Dennett) — профессор философии и содиректор Центра когнитивных исследований Университета Тафтса. Последние написанные им книги — «Насосы интуиции и другие инструменты мышления» (*Intuition Pumps and Other Tools for Thinking*) и «Пойман на кафедре: отказываясь от веры» (*Caught in the Pulpit: Leaving Belief Behind*); последняя — в соавторстве с Линдой Ласколой (Linda LaScola).



Деб Рой (Deb Roy) — адъюнкт-профессор Массачусетского технологического института, директор Лаборатории социальных машин, расположенной в этом институте, и главный медиаспециалист на Twitter; член Совета глобальной повестки по социальным медиа Всемирного экономического форума.



Более полумиллиарда лет назад на Земле произошло внезапное и грандиозное по созидательности биологическое обновление, получившее название «кембрийский взрыв». За какое-то геологическое «мгновение» в несколько миллионов лет земные организмы приобрели совершенно новую форму тела, новые органы, новые стратегии хищников или способы защиты от этих стратегий. Биологи-эволюционисты расходятся во мнениях относительно причин столь мощной волны преобразований, но особенно убедительной выглядит гипотеза зоолога Оксфордского университета Эндрю Паркера (Andrew Parker), по которой все дело в свете, который стал своего рода «спусковым крючком».

Как предполагает Паркер, где-то 543 млн лет назад неожиданно изменился химический состав мелководных океанов и атмосферы Земли, что сделало их намного более прозрачными. После того как в океаны — где в то время концентрировался весь животный мир планеты — хлынул дневной свет, важнейшей способностью их обитателей стало зрение. В ответ на быстрое эволюционное развитие глаза началось совершенствование поведения и устройства живых организмов.

Если до этого все восприятие у животных было непосредственным (т.е. осуществлялось через физический контакт, ощущаемую разницу в концентрации

химических веществ, волны сжатия и пр.), то теперь они могли распознавать и отслеживать объекты на расстоянии. Хищники получили возможность подкрадываться к добыче, а добыча — наблюдать за приближением хищников и всячески избегать контакта с ними. Передвижение — медленный и бессмысленный процесс, когда нет глаз для выбора направления, а сами глаза бесполезны, если отсутствует физическая возможность участвовать в таком передвижении. Восприятие и активность одновременно развивались в подобной, образно говоря, «гонке вооружений», обеспечившей основу многообразия нашего современного древа жизни.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Примерно 543 млн лет назад произошло взрывное увеличение биоразнообразия в первобытных океанах. По одной из теорий, причина этого — внезапное приобретение океанскими водами прозрачности.
- Аналогия с этим «кембрийским взрывом» помогает понять, как цифровые технологии будут трансформировать наше общество. Наступающая информационная прозрачность вынудит различные организации меняться.
- Животные, приспосабливаясь к новым условиям, создавали прочные внешние скелеты, маскировку и способы обмана хищников. Из-за трудности сохранения секретов государства и корпорации пойдут тем же путем.
- В итоге новая прозрачность приведет к созданию новых типов организаций: естественный отбор будет благоприятствовать наиболее быстрым и гибким из них.

Гипотеза Паркера по поводу кембрийского взрыва представляет собой прекрасную параллель для понимания нового и, казалось бы, не связанного с этим явления — современного распространения цифровых технологий. Если успехи в развитии технологии передачи информации уже не трансформировали наш мир в прошлом (так, создание письменности знаменовало конец доисторической эпохи, а работа печатного станка послала волны преобразований через все основные институты общества), то воздействие на него новых цифровых технологий вообще может оказаться беспрецедентным по силе. Такое воздействие увеличит власть одних людей и организаций, подавляя при этом власть других и создавая такие возможности и риски, которые едва ли можно было себе представить всего лишь одно поколение назад.

Когда организации становятся открытыми для яркого дневного света, они быстро осознают, что больше уже невозможно полагаться на старые методы работы; надо как-то реагировать на такую новую прозрачность или вообще прекратить существование

Через социальные медиа Интернет дал в руки отдельных людей глобальное коммуникационное орудие. Одним рывком была преодолена граница совершенно новой территории. Такие интернет-сервисы, как *YouTube, Facebook, Twitter, Tumblr, Instagram, WhatsApp* и *SnapChat*, образуют новые средства массовой информации (массмедиа) наравне с телефоном или телевидением. Причем происходит это с поистине сногшибательной скоростью. Ранее специалисты десятилетиями разрабатывали и прокладывали телефонные и телевизионные сети, что давало организациям некоторое время на адаптацию к нововведениям. А сегодня какой-нибудь социальный интернет-сервис может быть создан буквально за недели, а уже через несколько месяцев им будут пользоваться буквально сотни миллионов людей. При подобной напряженной гонке инноваций организации едва успевают по-настоящему приспособиться к использованию одного массмедиа, как наступает очередь следующего.

Огромные изменения нашего мира под воздействием изобилия подобных средств можно обозначить одним словом: прозрачность. Сегодня мы можем видеть дальше, быстрее, проще и с меньшими

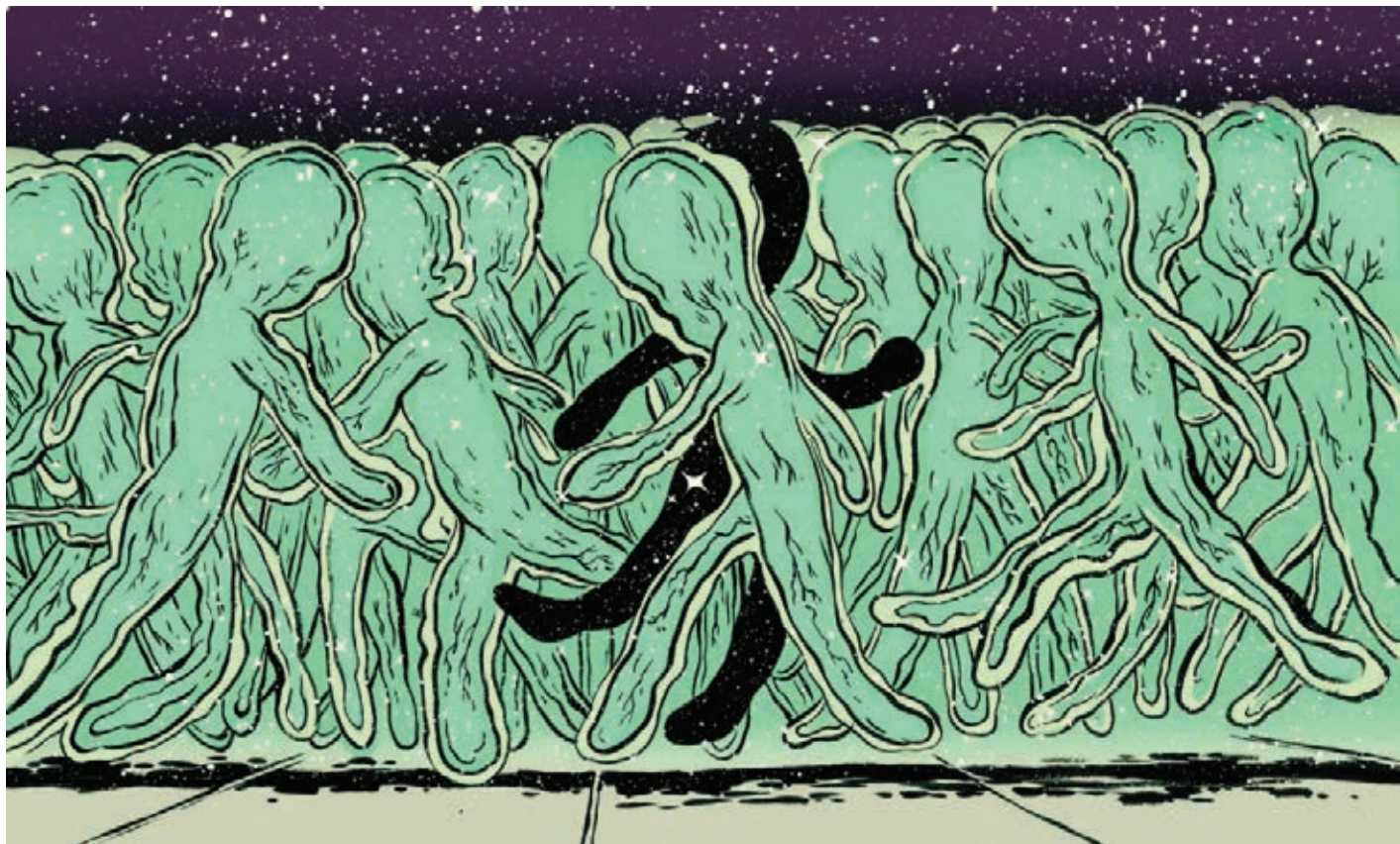
затратами — однако теперь и мы сами становимся хорошо видимыми. И вы, и я можем наблюдать, как все видят то, что видим мы, словно речь идет о коридорах с уменьшающимися отражениями в поставленных друг напротив друга зеркалах, — своего рода взаимная осведомленность, которая одновременно и расширяет, и ограничивает наши возможности. Словно в какой-то древней игре в прятки, сформировавшей все формы жизни на нашей планете, внезапно разом поменяли площадку, оборудование и правила. При этом игрокам, которые не сумеют приспособиться к переменам, долго не продержаться.

Воздействие на наши институты и организации будет огромным. Все правительства, армии, церкви, университеты, банки и компании образовались для существования в относительно туманной эпистемологической среде, где большая часть знаний имеет местный характер, где секреты легко сохраняются, а все люди страдают если не слепотой, то близорукостью. Когда эти организации внезапно становятся открытыми для яркого дневного света, они быстро осознают, что больше уже невозможно полагаться на старые методы работы; надо как-то реагировать на такую новую прозрачность или вообще прекратить существование. Точно так же, как живой клетке требуется надежная мембрана для защиты ее внутриклеточной среды от превратностей внешнего мира, человеческим организациям нужен новый защитный пограничный слой, отделяющий их внутренние дела от открытого мира, поскольку прежний слой уже теряет свою эффективность.

Клешни и челюсти, панцири и раковины

В 2003 г. в книге «Во мгновение ока» (*In the Blink of an Eye*) Паркер утверждает, что первыми, кто незамедлительно отреагировал на активное давление отбора в период кембрийского взрыва, были твердые части тела морских обитателей. Внезапно наступившая прозрачность морской воды способствовала образованию у них сетчатки камерного глаза, которая, в свою очередь, ускорила развитие клешней, челюстей, а также панцирей, раковин и других защитных приспособлений. По мере развития нервной системы у одних морских животных вырабатывались новые формы поведения хищников, а у других — способы спасения или маскировки от этих хищников.

По аналогии мы могли бы ожидать, что и организации будут реагировать на проблему цифровой социальной прозрачности путем преобразований «внешних частей тела». В дополнение к «органам»,



используемым организациями для обеспечения населения товарами и услугами, к таким внешним частям тела относятся также органы обработки информации, занимающиеся контролем и самопрезентацией, например отдел связей с общественностью, коммерческий и юридический отделы. Именно здесь в наибольшей степени наблюдается воздействие прозрачности. Через социальные сети разного рода слухи и мнения распространяются сегодня по всему миру за какие-то дни, если не часы. При этом к отделу связей с общественностью и коммерческому отделу предъявляется сегодня новое требование: вступать в разговор — т.е. самым непосредственным образом реагировать на обращения отдельных людей на их условиях, делая это в понятной, открытой и непринужденной форме. Организации, где из-за медлительности юридического отдела на выработку стратегии коммуникаций уходят недели и месяцы, могут вскоре отстать от других. Таким организациям вообще надо будет пересмотреть свои старые привычки, иначе их ожидает крах.

Упрощение доступа к данным создало новые формы общественного комментария, основанного на всесторонних практических наблюдениях.

«Лишь очень немногие вещи смогут и дальше быть секретными, а те, что продолжают держать в секрете, будут оставаться секретными не очень долго. Сегодня настоящая цель в сфере безопасности — отдалить “период полураспада” секретов»

Джозел Бреннер, бывший главный инспектор АНБ

Именно это продемонстрировал во время президентских выборов 2012 г. в США дата-журналист Нейт Силвер (Nate Silver) (*дата-журнализм — новый жанр журналистики, использующий для предоставления информации общественно доступные базы данных в виде статистических сводок, графиков, списков, карт и т.д. — Примеч. пер.*). Если некоторые новостные организации заранее выступали с прогнозами, обещавшими победу какому-либо из кандидатов в президенты на основании специально подобранных данных, то Силвер предлагал такие прогнозные комментарии,

которые брали в расчет всю избирательную информацию. Кроме того что Силвер с поразительной точностью предсказывал результаты выборов, он открыто делился своей методикой, устраняя тем самым любые подозрения в том, что все дело в везении. Сегодня, при все большей прозрачности и доступности результатов опросов общественного мнения, новостным организациям и политическим аналитикам, предпочитающим выборочно правдивые истории, предстоят более трудные времена.

С очень близкими по характеру проблемами сталкиваются и производители потребительских товаров. Опросы потребителей относительно качества продукции и услуг меняют соотношение сил между теми, кто потребляет и кто производит эти товары. Усилия по сбыту брендовых вещей не приносят успеха, когда все более весомым становится мнение на этот счет разных потребителей. Чуткие компании учатся быстро и открыто реагировать на жалобы и отрицательные отзывы. Причем если негативных отзывов становится слишком много, компаниям не остается ничего иного, как внести исправления в конкретный продукт или вообще изъять его из продажи. Расходование средств на реализацию невысокого качества товаров уже не имеет смысла.

Небольшие группы людей с общими ценностями, целями и убеждениями (в особенности готовых к быстрым и согласованным действиям в случае кризиса, а также способных пользоваться специальными каналами внутренней коммуникации) наилучшим образом справятся с задачей быстрого, чуткого и открытого распространения новых требований прозрачности. Чтобы противопоставить их большим иерархически организованным бюрократическим аппаратам, мы можем называть их группами специалистов. При все возрастающем давлении взаимной прозрачности мы либо станем свидетелями развития новых организационных структур, намного более децентрализованных по сравнению с сегодняшними крупными организациями, либо увидим дарвиновский естественный отбор в пользу более мелких групп — такой, который возвестит эпоху открытого действия принципа «чересчур большой для выживания».

«Период полураспада» секретов

В связи с этой темой часто цитируют изначального поборника прозрачности, судью Верховного суда США Луи Бранде (Louis D. Brandeis). «Солнечный свет считается наилучшим дезинфицирующим средством», — превосходно выразился он. И, разумеется, был прав — как в буквальном, так и в переносном смысле. Однако солнечный свет может быть еще и опасным. Что если в своем настойчивом стремлении к очищению мы убиваем чересчур много дружественных клеток? Не рискуем ли мы

нарушить работоспособность или эффективность организаций, раскрывая миру слишком большую часть их внутреннего механизма?

Бранде был врагом секретности. Он явно придерживался мнения о том, что чем прозрачнее будут институты, тем лучше они станут. Как мы видим более чем через 100 лет, инициированная с его помощью кампания принесла большие успехи. Однако вопреки обилию политической риторики относительно исключительных преимуществ прозрачности в коридорах власти секретность остается незыблемой — и на то есть веские причины.

Подход с биологической точки зрения помогает увидеть, что прозрачность имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Животные и даже растения могут выступать перед нами в качестве своеобразных агентов, имеющих свои скрытые планы. Руководствуясь органами чувств, эти агенты действуют в интересах собственного благополучия. Человеческая организация ведет себя аналогичным образом: она агент, состоящий из большого числа работающих живых частей — людей, которые в отличие от клеток, образующих растения и животных, обладают широкими интересами и способностями восприятия. Животному или растению нет нужды беспокоиться о том, что его клетки могут дезертировать или поднять мятеж (если, конечно, не рассматривать случаи заболевания раком, когда клетки многоклеточных животных форм превращаются вдруг в чьих-то послушных и исполнительных «рабов»). В противоположность этому люди и каждый отдельно взятый человек обладают определенной силой и отличаются живым интересом к происходящему в большом мире.

Впрочем, так было не всегда. В прежние времена диктаторы совершенно необъяснимым образом могли править из-за высоких стен, опираясь на иерархические организации, которые состояли из функционеров; последние очень мало знали об организации, членами которой были, и еще менее — о положении дел в ближнем и в большом мире. Особенно искусными в подавлении любознательности своих прихожан были церкви, которые держали людей в состоянии полного или частичного неведения относительно остального мира, окутывая при этом туманом неизвестности свою собственную историю, свои внутренние процессы, финансовые дела и цели. Вооруженные силы, в свою очередь, всегда получали выгоду от сохранения своих действий в секрете — не только от противника, но и от собственных военнослужащих. Солдаты, заранее знающие о предполагаемом проценте потерь в какой-либо операции, будут действовать менее эффективно в сравнении с теми, кто не задумывается о своей возможной участи. Более того, попавший в плен неосведомленный солдат сможет раскрыть на допросе гораздо меньше ценных сведений.

Одна из главных идей теории игр заключается в том, что агенты должны хранить секреты. Агент, открывшийся другому агенту, частично лишается ценной независимости и подвергается опасности стать объектом манипуляций. Для честной конкуренции на открытом рынке фирмы-изготовители должны охранять рецептуру своих продуктов, планы расширения своей деятельности и другую производственную информацию, представляющую собой их собственность. Школам и университетам необходимо держать в секрете все экзаменационные материалы вплоть до начала сдачи экзаменов своими школьниками и студентами. Находясь на посту президента США, Барак Обама обещал наступление новой эпохи прозрачности государственной деятельности, однако, несмотря на значительные улучшения в этой области, огромные сферы секретности и административных привилегий продолжают все так же упорно существовать — поскольку именно так и должно быть. Например, чтобы предотвратить использование экономической статистики инсайдерами, она должна оставаться секретной вплоть до ее официального представления. При выполнении своих функций правительству страны следует оставаться беспристрастным, хотя делать это в условиях новой прозрачности ему становится все труднее.

Разоблачения Эдварда Сноудена относительно характера деятельности Агентства национальной безопасности США (АНБ) показывают, как в эпоху прозрачности один разоблачитель, или «крот», может нарушить работу крупной организации. Хотя для утечки служебной информации Сноуден использовал традиционные новостные агентства, именно активная реакция на это в социальных медиа обеспечила поддержание стойкого интереса к данной новостной теме. Тем самым оказывалось устойчивое, продолжительное давление на АНБ и федеральное правительство США, вынуждавшее их принимать меры.

В ответ происходит отчетливое приспособление к новым условиям «внешнего слоя кожи» АНБ. Один лишь тот факт, что это агентство принялось публично оправдываться в ответ на обвинения Сноудена, стал чем-то беспрецедентным для организации, которая долгое время скрывалась за покровом абсолютной секретности. Сегодня значительные изменения в самом агентстве неизбежны, как и разбирательство с тем, какие виды секретов оно еще будет в состоянии сохранять в этом все более прозрачном мире. На собрании экспертной группы, проходившем в декабре 2013 г. в медиалаборатории Массачусетского технологического института, бывший главный инспектор АНБ Джоэл Бреннер (Joel Brenner) сказал по поводу внезапно изменившейся оперативной среды своего агентства: «Лишь очень немногие вещи смогут и дальше быть секретными, а те, что продолжают держать

в секрете, будут оставаться секретными не очень долго <...>. Сегодня настоящая цель в сфере безопасности — отдалить "период полураспада" секретов. Ведь секреты похожи на радиоактивные изотопы».

Как оптимистам, нам хотелось бы верить, что этот беспокойный отрезок времени приблизит нас к появлению организаций, более согласующихся с моральными нормами цивилизованного общества, а также к созданию эффективных новых способов корректировки действий организаций с аномальными отклонениями. При этом мы не можем исключить постоянного ослабления наших разведывательных организаций, которое уменьшит их способность распознавать угрозы.

Информационные обманки

В своей эволюционной «гонке вооружений» животный мир кембрийского периода изобрел множество как мер по уклонению от встреч с хищниками, так и соответствующих контрмер, причем с тех пор этот арсенал хитростей существенно увеличился. У животных появились маскировка, крики тревоги для предупреждения о приближающейся опасности, демонстративно яркая расцветка для отпугивания потенциальных хищников мнимой опасностью отравиться. Новая прозрачность приведет к аналогичному распространению орудий и приемов информационной войны: кампаний по дискредитации источников информации, упреждающих информационных атак, улолов и т.д.

Идея обманых вооружений была подсказана самой природой. Облако чернил, которое выбрасывается головоногими моллюсками в момент бегства от хищников, волею ракетного конструктора превратилось в ложную цель, своеобразную обманку — целые облака из обладающих радиолокационной отражательной способностью металлических обломков и ложных боеголовок вводят в заблуждение ПРО противника, отвлекают на себя его противоракеты. Мы можем прогнозировать использование подобной обманки, состоящей исключительно из мегабайтов дезинформации, которая будет вскоре обнаружена и уничтожена совершенными поисковыми системами, стимулируя, в свою очередь, создание все более убедительной дезинформации. Кроме того, поскольку организации и отдельные лица будут всячески стремиться защитить свою частную жизнь и репутацию, продолжится ускоренное распространение программ шифрования и дешифровки информации.

Новые виды организаций

Последнее, что подразумевает аналогия с изменениями кембрийского периода, связано с ожиданиями увидеть скорое и массовое образование новых видов организаций. Пока еще этого не происходит,

хотя уже можно заметить некоторые первые признаки. Например, в США не так давно появился новый тип компаний — так называемых корпораций для общественной пользы (*B-Corp*), что означало признание потребности в том, чтобы коммерческие предприятия не только получали прибыль, но и служили различным социальным целям. Интернет-корпорации *Google* и *Facebook* в нарушение традиций наделили своих основателей особого класса акциями (так называемыми суперакциями), предоставившими им чрезвычайно широкие права при голосовании акционеров. В итоге образовались открытые акционерные компании, которые управляются все так же частным образом, а их основатели получают возможность продолжать развитие этих компаний в соответствии с имеющимися у них на этот счет долгосрочными планами, при этом относительно равнодушно наблюдая за ежеквартальными причудами Уолл-стрит. Еще одним новым (и при этом недолговечным) видом человеческой организации следует, пожалуй, считать организованные протесты во время «арабской весны» в странах Ближнего Востока, подготовленные с помощью социальных медиа и оказавшиеся беспрецедентными по сочетанию скорости и масштабов мобилизации людей. Время покажет, но, похоже, мы находимся у начала радикального ответвления на организационном древе жизни.

Скорость преобразования конкретной организации прозрачностью будет зависеть от ее конкурентной ниши. Наиболее подвержены воздействию общественного мнения торговые компании, поскольку покупателям нетрудно будет найти альтернативные магазины. Если не уделить этому внимания, создававшаяся десятилетиями потребительская торговая марка может дискредитировать себя за какие-то месяцы. Несколько более защищенными следует считать церкви и спортивные клубы — этому способствуют глубоко укоренившиеся культурные традиции, а также эффект социальных связей среди ревностных церковных прихожан и спортивных болельщиков. Тем не менее если под пристальным контролем взаимной прозрачности здесь начнут выявляться случаи жестокого обращения с детьми или нанесения им тяжелых физических повреждений, на которые в доинтернетные времена могли закрыть глаза, даже самые могущественные представители церкви и спортивные клубы должны будут либо ответственно реагировать, либо уходить со сцены.

Наиболее ограждены от непосредственного эволюционного давления системы государственной власти. Подогреваемые социальными медиа, массовые протесты могут вести к свержению правителей и правящих партий, в то время как государственные органы будут стремиться продолжить свое относительно спокойное существование

путем изменений в политическом руководстве. Государственный аппарат не испытывает особого давления конкуренции, а потому развивается медленнее всего. Тем не менее даже здесь следует ожидать значительных перемен, поскольку возможности отдельных людей, даже неспециалистов, при их наблюдении за организациями будут лишь возрастать. Под общим давлением правительства начнут открывать доступ к мощным новым потокам необработанных данных, отражающих их внутренние операции. Воодушевленные успехами в крупномасштабном анализе образов, в визуализации данных, в основанной на конкретных данных профессиональной и гражданской журналистике, мы сможем создать мощные социальные структуры обратной связи, которые лишь увеличат прозрачность организаций.

В этом складывающемся новом человеческом порядке будет некий момент самоограничения. Подобно тому как целые муравьиные колонии способны совершать непосильное для отдельных муравьев, человеческие организации также могут превосходить возможности отдельных людей в создании сверхчеловеческого: памяти, верований, планов, поступков и, возможно, даже сверхчеловеческих ценностей. К счастью это или к несчастью, но наше эволюционное развитие ведет нас к сдерживанию наших «сверхчеловеческих» организаций, принуждая их соответствовать установленным человеческим нормам. Динамика подобного саморегулирования, обеспеченная ускоренным развитием коммуникации человека и машины, будет столь же уникальной для нашего биологического вида, как и сам наш язык. ■

Перевод: А.Н. Божко

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Ланир Д. Приватность: с какой стороны посмотреть // ВМН, № 1, 2014.
- In the Blink of an Eye: How Vision Sparked the Big Bang of Evolution. Andrew Parker. Basic Books, 2003.
- The Social Cell: What Do Debutante Balls, the Japanese Tea Ceremony, Ponzi Schemes and Doubting Clergy All Have in Common? Daniel Dennett in *New Statesman*, Vol. 140, No. 5084, pages 48–53; December 19, 2011.
- No Place to Hide: Edward Snowden, the NSA, and the U.S. Surveillance State. Glenn Greenwald. Metropolitan Books, 2014.





Степан Николаевич Калмыков —
руководитель отделения ядерной и радиационной медицины
НБИКС-центра Курчатовского института, заведующий кафедрой радиохимии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, профессор,
доктор химических наук.

ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА



НАШ ДРУГ РАДИАЦИЯ

Ядерная медицина выросла в свое время из атомного проекта. Для создания ядерного оружия было необходимо получить обогащенный уран, а значит научиться работать с изотопами — выделять их и обогащать. В Курчатовском институте, тогда Лаборатории № 2, Исааком Константиновичем Кикоиным была решена проблема разделения изотопов урана диффузионным методом. В начале 1960-х гг. под его научным руководством в промышленность был внедрен новый эффективный центробежный метод разделения изотопов урана. Центробежная техника открыла возможность масштабного разделения стабильных изотопов. Применение выделяемых изотопов приобрело не только научное, но и медицинское значение. Радионуклиды лежат в основе таких видов диагностики, как, например, позитронно-эмиссионная и однофотонная компьютерная томография. Для наработки медицинских радионуклидов была создана мощная экспериментальная база, включающая в себя ускорители различного типа и ядерные реакторы, которые в свою очередь составили практическую основу для целого ряда медицинских методик — таких как протонная (адронная) терапия и нейтронзахватная терапия. Сегодня на базе институтов НИЦ «Курчатовский институт» сформирована уникальная инфраструктура, охватывающая практически все направления ядерной медицины, производство стабильных изотопов и радионуклидов медицинского назначения.

Ядерная медицина — одна из наиболее высокотехнологичных и эффективных отраслей диагностики и лечения.

С помощью ее методик без боли, крови и вредных последствий для организма можно с невероятной точностью диагностировать то или иное заболевание, а затем «вычислить» оптимальный способ его лечения для данного конкретного человека. Речь идет о таких грозных недугах, как онкология, сердечно-сосудистые заболевания или, например, болезнь Альцгеймера

Оборудование и вся обстановка в одной из лабораторий отделения ядерной и радиационной медицины НБИКС-центра Курчатовского института напоминает декорацию к фантастическому фильму о далеком будущем. Белоснежные комбинезоны, огромные пластиковые очки, невероятные установки... И значки радиации, предупреждающие о том, куда ходить нельзя. «Пусть мужчина идет, а вам не надо», — мягко отстраняет меня от двери лаборант, пропуская внутрь нашего фотографа. А ведь ученые трудятся там ежедневно и ежечасно. О сегодняшних достижениях ядерной медицины — наш разговор с руководителем отделения ядерной и радиационной медицины НБИКС-центра Курчатовского института, заведующим кафедрой радиохимии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, профессором, доктором химических наук **Степаном Николаевичем Калмыковым**.

— Степан Николаевич, чем занимается ядерная медицина?

— Это фактически персонифицированная медицина, которая использует самые современные ядерные технологии. В отличие от традиционных способов лечения таких тяжелых заболеваний, как онкологические, когда используются лучевая или химиотерапия, порой травмирующая пациента больше, чем сама болезнь, здесь возможна так называемая адресная доставка фармпрепаратов. Ядерная медицина не затрагивает весь организм целиком — она позволяет достичь селективного воздействия исключительно на опухоль. Это не только лечение, но и диагностические процедуры, которые сейчас очень широко распространены. Начинает набирать обороты и терапия.

В целом масштабы развития ядерной медицины можно продемонстрировать такими цифрами: в США 20 млн пациентов в год проходят те или иные диагностические или терапевтические процедуры с использованием радионуклидов. Это, конечно, гигантская цифра. Многие страховые компании перед тем, как выписать полис обязательного медицинского страхования, заставляют пациентов проходить томографические исследования. И это уже стало медицинской рутинной, такой же как, например, для россиянина сделать флюорографию.

— Но ведь в нашей стране это далеко не рутинная?

— В рамках реализации атомного проекта в нашей стране была создана целая сеть ядерно-физических центров, специальных медицинских учреждений, высших учебных заведений, вычислительных центров. К сожалению, по понятным причинам в последние 20 лет, когда во всем мире произошел всплеск ядерной медицины, мы серьезно отстали.

— А ведь когда-то мы были мировыми лидерами в этой области?

— Да, в 70–80-е гг. XX в., в течение длительного времени, мы лидировали в области ядерных, в том числе медицинских технологий. Традиционно страны бывшего Советского Союза всегда были очень сильны в области ядерных технологий, но колоссальный потенциал советских ученых в этой области до недавнего времени, казалось, почти утрачен. В 2008 г. по инициативе Е.П. Велихова и М.В. Ковальчука группа специалистов Курчатовского института обосновала перед руководством страны необходимость экстренной необходимости возрождения ядерной медицины в России. Тема получила широкий общественный резонанс, в том числе на площадке Общественной палаты РФ. Сегодня уже можно

Использование рубидия-82, который живет всего-навсего минуты, в развитых странах стало абсолютной рутинной. Период его полураспада таков, что уже через 10–15 минут он не оказывает никакого воздействия ни на пациента, ни на окружающих



Автоклав для стерилизации оборудования (слева);
циклотрон для получения медицинских радиофармпрепаратов (справа)



сказать, что дело сдвинулось с мертвой точки, хотя работы, конечно, непочатый край. Например, вот цифры по позитронно-эмиссионной томографии: по рекомендации ВОЗ, один томограф должен быть на 500 тыс. — 1 млн человек населения. Понятно, что сложно создать в одночасье нужное количество такой аппаратуры, тем не менее сейчас есть много программ — и государственных, и государственно-частного партнерства, — которые эти задачи реализуют. В региональных федеральных университетах создаются центры ядерной медицины, где развиваются методики позитронно-эмиссионной томографии. Количество ПЭТ-центров значительно увеличилось за последние два-три года. Все это вселяет оптимизм. Хочется верить, что в ближайшие годы это отставание будет постепенно уменьшаться и мы выйдем на уровень развитых стран.

— Давайте поговорим о ваших разработках. Что нового удалось привнести и что собираетесь сделать в ближайшее время?

— Ядерная медицина — это классический пример конвергенции самых разных наук. В первую очередь, это ядерная физика, которая должна выбрать собственно ядерную реакцию, условия облучения мишени, выбор самого мишенного материала, определение того, какие конкурирующие ядерные процессы идут при облучении. Дальше инженерная часть: ускорительная техника, сложная мишенная часть, когда за счет облучения происходит нагрев материалов, нужно отводить

тепло, учитывать радиационные нагрузки. Затем химия — то, что следует за облучением материала, когда нам нужно быстро, в условиях горячих камер (ведь это достаточно большая радиоактивность), технологично и с высокими выходами выделить целевой радионуклид, причем выделить его в радиохимически, химически и изотопно чистом состоянии. Это значит, что на следующей стадии, когда все это поступает к биологам и биохимикам для синтеза радиофармпрепаратов, никаких примесей быть не должно. Иначе синтез препаратов просто не произойдет. Не говоря уже о том, что любая примесь долгоживущих радионуклидов — это дозовые нагрузки на пациента, а такое не допускается ни в коем случае. Поэтому требования к химической стадии очень жесткие. Мы должны подойти к выпуску радиофармпрепарата, нигде не ошибившись, создать молекулы-транспортёры, которые осуществляют доставку к раковой опухоли либо к очагу другого заболевания.

— Действительно, речь ведь идет не только об онкологических заболеваниях. Есть кардиология, неврология, в частности болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, рассеянный склероз, которые успешно диагностируются с помощью методов ядерной медицины.

— Да, в той же кардиологии использование рубидия-82, который живет меньше двух минут, сейчас тоже стало в развитых странах абсолютной рутинной. Изотопный генератор подключается

**Молекула-транспортёр
обеспечивает точечное
воздействие на орган,
содержащий опухоль.
Она создает большую,
но локальную дозовую
нагрузку, в отличие
от лучевой терапии,
которая затрагивает далеко
не только больной орган,
а в целом человека, и это
может его погубить**

к пациенту, который находится в томографе, и прямо во время проведения томографии проходит полная визуализация сердечно-сосудистой системы, быстрая, надежная, качественная. Период полураспада таков, что уже через 10–15 минут, даже меньше, активность распадается и не представляет никакой дозовой нагрузки ни для пациента, ни для окружающих.

— **Правильно ли я понимаю, что, если в кардиологии мы можем использовать ваши методы только в качестве диагностики, то в неврологии и онкологии — для доставки этих таргетных препаратов?**

— Да, особенно в онкологии. Мы все прекрасно знаем, что радионуклиды с коротким пробегом, так называемые радионуклиды с высокой линейной передачей энергии, т.е. те, которые расходуют огромное количество энергии на очень маленьком пути траектории, естественно, вредны. Все знают, что если какие-то альфа-излучатели попадают в организм человека, то могут быть очень негативные последствия для его здоровья. Но здесь мы как раз это и используем. Если мы имеем некую молекулу-транспортёр, которая обеспечивает направленную целевую доставку в орган, где находится опухоль, именно там и будет происходить накопление разрушительного воздействия. Будет создаваться большая, но локальная дозовая нагрузка, в отличие от лучевой терапии, которая затрагивает далеко не только больной орган, а в целом человека, и это может его погубить. Особенно страшно, когда речь идет об опухолях головы и шейного отдела позвоночника. Такие мощные внешние дозовые нагрузки вызывают очень серьезные когнитивные нарушения.

— **Для онкологического больного качество жизни играет не меньшую роль, чем, собственно, сама жизнь. Мы знаем, какое сейчас**

пугающее количество случаев самоубийств среди таких пациентов. Ваши научные исследования могут помочь решить эту проблему?

— У нас серьезные исследования ведутся в Курчатовском институте, в ряде других институтов, и по целому перечню направлений мы не уступаем самым передовым западным подходам. Другое дело, что от стадии научной идеи, ее разработки, до стадии готового зарегистрированного радиофармпрепарата, который уже может быть использован в клинике, проходит не менее десяти лет. Это по самым оптимистическим прогнозам.

— **Значит, того счастливого момента, когда мы сможем помочь многим онкологическим больным, ждать еще долго?**

— Не только у нас, во всем мире существует очень сложная система регистрации, согласно которой мы должны гарантировать, что этот препарат не наносит серьезного вреда пациентам. Мы должны отстроить всю технологическую цепочку, включая постоянного надежного поставщика больших количеств радионуклидной продукции. Это современные ускорители, и не исследовательские, а промышленные, с высокими токами, которые позволяют постоянно нарабатывать большие количества таких препаратов. В Курчатовском институте есть несколько очень хороших проектов, которые, надеюсь, в ближайшие два-три года активно заработают. Это создание мощного циклотрона в 70 МэВ для производства больших количеств медицинских радионуклидов. Он в значительной степени будет обеспечивать Россию и внешние рынки той



Томограф ПЭТ-КТ



В лаборатории контроля качества медицинских радиофармпрепаратов

радионуклидной продукцией, которой остро не хватает. Это создание радиохимических лабораторий, где будут разрабатываться новые радиофармпрепараты. И здесь, повторюсь, очень важно активное сотрудничество самых разных специалистов. Если хотя бы одного из звеньев не будет, цепочка не состоит. Рядом с физикой, химией, биологией стоят когнитивные науки, особенно важные для детей, а это, увы, большой контингент онкобольных.

— Как вы будете определять персональную дозу для того или иного пациента, в частности ребенка?

— Для этого разрабатываются различные сенсорные системы, которые можно будет внедрить в реальную клинику с использованием недорогого серийного оборудования. Они отслеживают нейромедиаторы в крови, отвечающие за наши когнитивные функции. И под действием внешнего облучения их содержание уменьшается. Исследуя кровь, мочу, спинномозговую жидкость тех или иных пациентов, мы можем контролировать тот критический дозовый уровень, который применим к каждому конкретному пациенту. Все эти подходы мы будем применять к пациентам, которые получают либо внешнее облучение, либо брахитерапию — высокодозную терапию, когда в опухоль вводятся через кровоток высокоактивные микроисточники, которые механически застревают в опухоли и фактически ее разрушают.

— Наше население, как известно, отличается большой радиологической настороженностью...

— Не надо бояться этих методов лечения. Рак — это тяжелое заболевание, которое часто диагностируется на достаточно поздних стадиях, когда помочь больному очень сложно. И здесь роль ядерной медицины крайне важна. С ее помощью возможна ранняя диагностика онкологических и многих других заболеваний. Такие диагностические процедуры действительно должны стать медицинской рутинной. Они должны появиться в обычных поликлиниках как лабораторные анализы крови. Именно тогда различные раковые заболевания можно ловить в тот момент, когда есть возможность их полностью вылечить. Создание сети ПЭТ-центров, о которых я уже говорил, служит как раз этой важной цели.

А что касается облучения, то важно усвоить: радиация — это естественный биосферный фактор, к которому все живые организмы привыкли. Более того, наши предки (я имею в виду даже не человека, а те биологические виды, которые жили еще до его появления) подвергались существенно более высоким дозам ионизирующих излучений. Тем не менее жизнь на Земле не исчезла.

Нужно помнить, что есть среднее распределение дозовых нагрузок. 60% человек получает от естественного источника — радона-222. Он принадлежит к ряду урана-238 — природного радионуклида с периодом полураспада в миллиарды лет. Урана в морской воде больше, чем железа, но люди купаются и не боятся. Уран распадается в радий, тот — в радон, а радон — это газ. Он непрерывно поступает в воздух, которым человек дышит. Так вот, все техногенные источники радиации, в том числе медицина, несоизмеримо меньше, чем естественный фон. При этом, конечно, все уровни строго контролируются. Для того и проводятся многолетние испытания.

— Ученые много лет обращались к власти имущим, пытаясь донести до них мысль, что без науки нет полноценной страны. Можем ли мы сказать, что сегодня этот призыв наконец услышан?

— Я помню ситуацию 90-х гг., когда наука разваливалась на глазах, ее перестали финансировать и государство просто махнуло на нее рукой — так много было других проблем. Сейчас ситуация несоизмеримо лучше. Закупаются новое оборудование, людям платят зарплату. В науку опять пошла молодежь. Нужно понять следующее: невозможно получить результаты уже на следующий день. Требуется время для исследований. Если будет такое понимание, все получится, перспективы сейчас очень неплохие. ■

Беседовала Наталия Лескова

О нынешнем дне ГНЦ РФ ТРИНИТИ
и о последних разработках
рассказывают его ведущие
специалисты: В.Е. Черковец,
А.Г. Красюков, В.М. Борисов
и А.М. Житлухин



Мост из Троицка в будущее

Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ГНЦ РФ ТРИНИТИ) скоро отметит свое 60-летие: именно в 1957 г. по инициативе академика А.П. Александрова была создана Магнитная лаборатория АН СССР. В течение всей своей более чем полувековой истории институт выступает одним из двигателей отечественной науки и технологий. Сегодня в лабораториях ГНЦ РФ ТРИНИТИ создается уникальное оборудование, разрабатываются передовые технологии, в том числе и для глобальных международных проектов

Владимир Евгеньевич Черковец,
генеральный директор ГНЦ РФ ТРИНИТИ:

Наша Магнитная лаборатория АН СССР была создана в 1950-е гг. Ее родоначальником был соратник И.В. Курчатова академик А.П. Александров. Он продолжал здесь работу по размагничиванию кораблей, которую они с Курчатовым начали еще в ленинградском Физтехе.

В дальнейшем лаборатория вошла в состав Курчатовского института. Второй мощный толчок в конце 60-х гг. дал Е.П. Велихов, который инициировал всю нынешнюю программу — лазеры, преобразование энергии, мощные МГД-генераторы, термояд.

В 90-е гг. в силу исторических и экономических причин Курчатовский институт вышел из состава Минатома. А наша лаборатория, создававшаяся

специально для крупных экспериментальных стендов и для специальных работ, осталась в составе «Росатома».

Сегодня мы успешно развиваемся, за последние десять лет институт в пять раз увеличил объемы работ в основном по федеральным целевым программам, ГОЗ и другим спецзаказам при практически неизменной численности.

Мы выполняем научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области управляемого термоядерного синтеза, лазерных физики и техники, различных способов преобразования энергии, физики плазмы и сопутствующих тем, связанных с основной целью, которая была указана вначале.

Основной элемент, который используется в нашей работе, — это плазма. Исследуются возможности применения специфических свойств этого

уникального состояния материи, в том числе способы ускорения плазмы с достаточно большим энергосодержанием до больших скоростей: порядка 300 км в секунду. Это, конечно, гораздо меньше, чем скорость света, но могу вас заверить, что если даже 30 мкг этого вещества с такой скоростью воздействует на поверхность, то последствия будут весьма примечательны, материал существенно изменит свои свойства.

В каких целях мы это делаем? В первую очередь, для термоядерных установок типа токамаков. Перед нами две крупные задачи. Первая: когда будет создан международный токамак *ITER*, нужно убедиться, что мы получили именно то, что планировали, а именно, плазму с термоядерными параметрами. Вторая задача чисто технологическая. Много говорится о том, что нам нужна техника пятого поколения. Какая? Например, авиационная. У всех на слуху самолеты четвертого поколения: 4+, 4++. Эти плюсы появляются оттого, что трудно выйти на нужные параметры. Правильнее было бы говорить о технике пятого поколения. Но она появится тогда, когда лопатки турбины будут сделаны с заданными параметрами по жаропрочности, по стойкости к циклированию и т.д. В нашем институте такая задача решается комбинированными методами: прочность и износостойкость этих лопаток обеспечивается лазерным излучением и плазменными потоками.

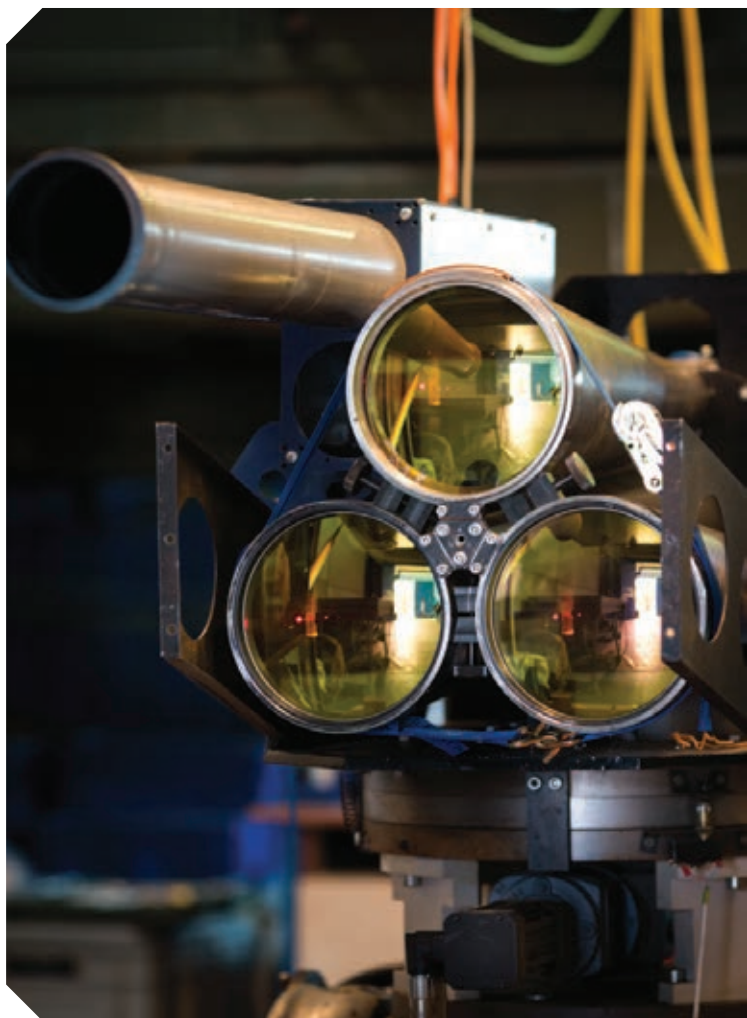
Можно сказать, филиал ИАЭ им. И.В. Курчатова (сейчас ГНЦ РФ ТРИНИТИ) — родина газоразрядных лазеров в России. Еще в начале XX в. Альберт Эйнштейн обосновал возможность существования наряду со спонтанным вынужденного излучения. Это сродни цепной реакции, как в реакторе. Квант электромагнитного излучения не только может вызвать дальнейшее возбуждение атома, но и генерирует себе подобных близнецов — т.е. когерентное излучение, когда копируется гигантское количество квантов, идущих в том же направлении, с той частотой, той же фазой.

Для этого важно, чтобы среда была инверсно заселенная. В нашей обыденной жизни мы обычно имеем дело с тем, что на более высоком энергетическом уровне меньше частиц, а на нижних уровнях — больше. Шарик, помещенный на горку, скатится вниз. Нужно создать среду, чтобы на верхних уровнях долго поддерживалось больше возбужденных частиц. Для этого может быть использован газовый разряд, как это делается в газоразрядных лазерах с различной рабочей средой. К настоящему времени достигнуты как рекордные параметры по мощности непрерывного лазерного излучения, так и результаты по практическому применению.

Еще одна важная задача для института — управляемый термояд. Он может быть реализован двумя способами. Первый — магнитное удержание

созданной плазмы с нужными параметрами (температура — десятки миллионов градусов). Это токамак, первый из которых создан в Курчатовском институте. И весь мир его подхватил, убедившись, что все правильно и все работает. В нашем институте действует один из трех российских токамаков — *T-11М*.

Второй вариант термояда — инерциальный термоядерный синтез, когда на миллиардные доли секунды создаются условия зажигания. В институте ежедневно проводятся эксперименты на одной из крупнейших в мире электрофизических установок — «Ангаре-5», где исследуется возможность осуществления такого типа термоядерного синтеза. Это примерно как в термоядерной бомбе, но только в очень малом пространственном масштабе. В дальнейшем можно предполо-



жить импульсно-периодический вариант наподобие двигателя внутреннего сгорания, в котором в каждом такте в цилиндре сгорает органическое топливо и на одну молекулу освобождаются доли электронвольта энергии. В термоядерном варианте на каждый акт синтеза «дейтерий-тритий»



Формирующий телескоп МЛТК-20 (слева); **лазерная дистанционная резка толстостенных металлоконструкций** (вверху)

высвобождается 14 МэВ, т.е. в 100 млн раз больше энергии. Такое устройство на машину, конечно, не поставишь, но можно создать электростанцию. Все это пока еще очень далеко от реализации — это касается варианта с магнитным удержанием плазмы и тем более инерциального синтеза.

Александр Григорьевич Красюков, первый заместитель директора отделения перспективных исследований, руководитель отдела технологических лазеров ГНЦ РФ ТРИНИТИ:

Разработкой мощных лазерных систем и технологий на основе лазеров начали заниматься в нашем институте (тогда еще филиале Института атомной энергии им. И.В. Курчатова) с начала 70-х гг. Мы разработали большое количество технологий. Были созданы мощные лазерные системы на основе CO_2 -лазеров, генерирующие излучение уровня киловатт и выше с длиной волны 10,6 мкм.

Тогда концерном «Газпром» руководил В.С. Черномырдин, и они с нашим директором организовали мозговой штурм на тему того, что мы можем предложить «Газпрому». В числе задач было предложено дистанционно резать металлоконструкции при авариях на газовых скважинах.

В конце 1991 г. на Карачаганакском газовом месторождении в Оренбургской области произошла очень крупная авария. Ее пытались устранить в течение 96 дней. Было завалено много металлоконструкций, а технология была тогда одна: разбивать эти завалы прямой наводкой артиллерийскими снарядами. Виктор Степанович, находясь на этой аварии, сказал: «Неужели наука ничего не может предложить?». Начальник штаба рассказал ему про наши разработки, и мы стали сотрудничать.

В 2000 г. мы создали первый в России и мире мобильный лазерный технологический комплекс, располагающийся на двух платформах. Он тоже работал на базе CO_2 -лазера с выходной мощностью 50 кВт. Газпромовцы привозили нам эти конструкции, мы здесь отработывали технологию резки. Тогда расстояние было 20–50 м, ближе нельзя подходить.

Сам комплекс оказался достаточно тяжелым и располагался в двух полуприцепах. Нужно было нечто компактнее и легче, чтобы повисить мобильность. К нашему счастью, российский физик В.П. Гапонцев разработал и создал волоконный иттербиевый лазер с длиной волны 1,07 мкм. Нам понравилась эта идея, поскольку она очень хорошо вписывалась в концепцию создания компактных, мобильных и надежных лазерных источников. На основе этой разработки

мы стали создавать мобильные лазерные технологические комплексы.

На базе двухкиловаттного лазера мы в 2004 г. по заказу «Росатома» создали первый мобильный лазерный технологический комплекс, который предназначался также для дистанционной резки металлоконструкций толщиной 20–40 мм. Мы стали предлагать «Газпрому» создать новый образец комплекса для решения их задач при авариях. В России аварии на газовых скважинах происходят с периодичностью примерно полтора раза в год. В конце 2009 г. мы получили заказ на создание такого комплекса и назвали его МЛТК-20. Он состоит из четырех контейнеров, из них три — с лазерными восьмикиловаттными источниками и с блоком формирующего телескопа (четвертый контейнер), который передает излучение на заданную точку на расстояние до 100 м.

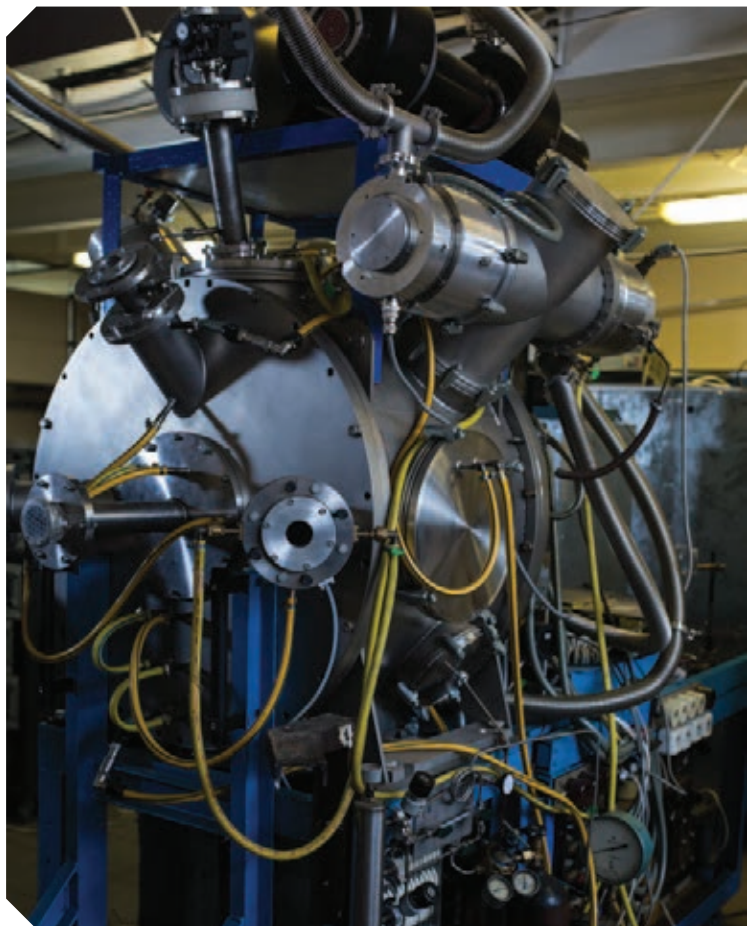
Первое боевое крещение прошло в июле 2011 г. на Западно-Таркосалинском нефтегазоконденсатном месторождении. Там нам удалось за четыре дня разрезать 300 т завала буровой вышки, которая упала на устье скважины. Мы непрерывно резали металлоконструкции по восемь-десять часов, после чего аварийщики растаскивали их своими тягачами. Мы разрежали все конструкции за четыре дня, и авария была ликвидирована. Это были рекордные сроки, поскольку обычно на это требуется до полутора месяцев. К текущему моменту мы уже отработали на четырех авариях.

Сейчас интересная работа закончена на этапе НИР по заказу «Газпрома» совместно с ВНИИГАЗ. Правительство поставило задачу, и мы начали заниматься освоением арктического шельфа — там обнаружены большие запасы углеводородов. И здесь самая серьезная опасность — разливы углеводородного топлива. Когда случилась

известная всем авария у *British Petroleum* в Карибском море, в работах по ликвидации разливов сработало то, что там теплые края и бактерии в конце концов съели эти разлившиеся углеводороды. Однако хрупкая экология Арктики не позволяет этого сделать. И мы вместе с ВНИИГАЗ разработали метод лазерного поджига и ликвидации нефтяных разливов. Разработана концепция создания специализированного комплекса на борту корабля либо вертолета, который может оперативно прибыть к месту случившейся аварии и произвести поджиг с последующей полной очисткой этого разлива. Надеемся, что в 2016 г. это заработает.

Владимир Михайлович Борисов,
заместитель директора по науке отделения импульсных процессов, начальник лаборатории импульсных лазерных систем ГНЦ РФ ТРИНИТИ:

Лаборатория импульсных лазерных систем, входящая в отделение импульсных процессов, существует уже около 30 лет и была создана для развития лазерных и плазменных источников и их применений. Мы в основном специализируемся на создании лазеров, работающих в импульсно-периодическом режиме, т.е. не непрерывно, а импульсно — с высокой частотой повторения импульсов. При таком режиме мощность в импульсе может на порядок превышать мощность, достигаемую в непрерывном режиме. Некоторые лазеры, например эксимерные, излучающие в УФ-диапазоне, могут работать только в импульсном режиме. Именно импульсно-периодические эксимерные лазеры нашли в настоящее время очень широкое применение в лидарной технике, в производстве современных чипов, в технологии создания высокотемпературных сверхпроводниковых лент второго поколения, в медицине. Мы создали целое семейство эксимерных лазеров, излучающих в диапазоне длин волн от 193 нм до 350 нм, с энергией генерации в импульсе от 0,1 Дж до 10 Дж и частотой следования импульсов до 5 кГц. Эксимерный XeCl -лазер с длиной волны 308 нм был применен в мобильном лидаре, который был разработан и использован нами в 1986 г. для мониторинга последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Эксимерный ArF -лазер с длиной волны 193 нм и частотой следования импульсов 5 кГц создавался в лаборатории для современной литографии. Для литографии следующего поколения, где требуются источники с еще меньшей длиной волны излучения (13,5 нм), мы предложили и разработали плазменные источники на основе эффекта «Z-пинч». Эта работа велась в рамках нескольких проектов МНТЦ с партнерами из Германии и Японии. В результате был создан один из самых мощных в мире электроразрядных источников экстремального



Мощный электроразрядный источник экстремального УФ излучения (13,5 нм) (вверху); работа лазерной установки по шаблонной резке деталей (справа)

УФ-излучения. В источнике формируется микропинч с объемом $\sim 0,5 \text{ мм}^3$, в который вводится электрическая мощность 170 кВт. Источник позволяет генерировать импульсы в диапазоне $13,5 \pm 0,13 \text{ нм}$ с эффективностью $\sim 2\%$ и частотой следования импульсов 7 кГц.

Последние три года мы занимаемся в рамках ФЦП воздействием плазменного или лазерного излучения на конструктивные материалы, используемые в «Росатоме». Как известно, в настоящее время в «Росатоме» идет работа по проекту принципиально нового демонстрационного реактора с естественной безопасностью — БРЕСТ-ОД-300 (теплоноситель — расплавленный свинец при температуре 6500°C). В качестве материала оболочек твэлов, представляющих собой наиболее нагруженные элементы реактора, рассматривается 12%-ная хромистая ферритно-мартенситная сталь марки ЭП823. Физико-механические характеристики этой стали подробно исследованы и проверены. В частности показано, что в зависимости от содержания кислорода в жидком свинце механизм коррозионного повреждения стали меняется

от растворения при низком содержании кислорода до окисления при высоком его содержании. В очень узком диапазоне оптимального содержания кислорода в жидком свинце ($1/4 \times 10^{-6}$ массового процента) сталь слабо подвергается коррозии. Поддержание оптимального кислородного режима для реактора БРЕСТ-ОД-300 требует довольно сложной и дорогой системы. Наша задача — исследование возможностей улучшения характеристик оболочек твэлов, в первую очередь коррозионной стойкости, позволяющих расширить безопасный диапазон содержания кислорода в свинце и его температуру. Нами было предложено покрывать оболочку твэла специальной композитной керамикой, получаемой методом импульсного лазерного осаждения, используя разработанные нами мощные импульсно-периодические эксимерные лазеры. Довольно долго мы искали эффективные режимы абляции различных керамических мишеней и оптимальные условия осаждения керамик на поверхность оболочки твэла для достижения хорошей адгезии и прочности покрытия. Ускоренные коррозионные испытания образцов с созданным защитным покрытием проводились в открытом контейнере с жидким свинцом при температурах в диапазоне $650\text{--}720^\circ\text{C}$. Испытания показали возможность достижения практически полного подавления коррозии поверхности оболочек твэлов с нанесенными защитными покрытиями. Полученные результаты дают основание для более детальных исследований



и разработки высокопроизводительной технологии повышения коррозионной стойкости твэлов для реакторов на быстрых нейтронах, основанной на использовании лазерных источников с высокой частотой повторения импульсов.

Анатолий Михайлович Житлухин,
заместитель директора отделения магнитных
и оптических исследований ГИЦ РФ ТРИНИТИ:

Основной коллектив нашего отделения сформировался в 1960-е гг. в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. В начале 70-х гг. вместе с экспериментальной базой он был переведен в филиал ИАЭ им. И.В. Курчатова, где впоследствии вырос до современного отделения магнитных и оптических исследований. Главная задача отделения — термоядерные исследования. Поначалу, когда исследования по управляемому термоядерному синтезу шли широким фронтом, в нашем отделении исследовался один из подходов к решению термоядерной проблемы — создание термоядерного реактора на базе открытых магнитных систем. Это системы, в которых плазма удерживалась в пробочной магнитной ловушке.

Был разработан перспективный вариант ловушки, и основной нашей задачей было заполнение этой ловушки водородной плазмой с температурой порядка 100 млн градусов. Был выбран метод заполнения — инжекция в ловушку мощных плазменных потоков, генерируемых импульсными плазменными ускорителями. Эти потоки входили в ловушку с двух сторон, сталкивались там, заполняя весь объем ловушки, обеспечивая интенсивную термоядерную реакцию.

Исследования продолжались в течение десятилетия — до начала 1970-х гг., когда из многочисленных направлений разработки термоядерных систем выделилось одно главное. Оно всем широко известно — это токамаки, замкнутые магнитные системы, которые оказались наиболее перспективными. Постепенно все термоядерные исследования были переключены на развитие этого направления.

На физической стадии исследования токамаков было установлено, какого масштаба должна быть термоядерная установка, обеспечивающая положительный энергетический выход. Выяснилось, что это огромное сооружение, которое не под силу построить ни одной стране в отдельности. Было организовано международное сотрудничество, у истоков которого стоял Е.П. Велихов.

После того как физики закончили свое дело, наступила эра технологических исследований. Оказалось, что создание такой установки — очень непростая технологическая задача. И, естественно, все мы, кто занимался альтернативными



Детали с улучшенными свойствами после обработки потоками высокотемпературной плазмы

исследованиями, постепенно подключились к этой проблеме и сосредоточились в основном на технологических исследованиях. На нашу долю выпало исследование стойкости защитных материалов камеры международного экспериментального токамака-реактора *ITER*.

Дело в том, что токамак в процессе своей работы регулярно «выплывает» порцию плазмы на стенку вакуумной камеры. Энергия этой плазмы настолько велика, что, если не предпринимать никаких мер и не проводить специальных технологических исследований, стенки быстро разрушаются. При этом ресурс термоядерной установки недостаточен для того, чтобы использовать ее даже в качестве экспериментального образца термоядерного реактора.

В нашем отделении начались исследования взаимодействия мощных плазменных потоков с поверхностью материалов совместно со специалистами из стран, участвующих в проекте *ITER*, в основном из США и Европейского союза. Основной задачей было понять физику разрушений материалов при интенсивном плазменном воздействии, чтобы выбрать подходящие материалы и создать защитные конструкции, которые бы обеспечили требуемый ресурс работы установки.

В результате цикла исследований было подтверждено, что наиболее перспективные материалы, которые могут использоваться для защиты первой стенки реактора, — это вольфрам как самый тугоплавкий материал, бериллий как материал, который наиболее совместим с плазмой, потому что имеет очень низкое значение Z (порядкового номера элемента), и углеродный композит, который не плавится и поэтому разрушается гораздо меньше. Кроме того, были определены

и допустимые режимы работы реактора *ITER*. Можно считать, что сейчас мы находимся на завершающей стадии этих исследований.

В ходе работы по программе *ITER* было получено очень много полезных физических результатов. И, как всегда при таких масштабных исследовательских работах, были разработаны основы «побочных» технологий, которые оказались весьма перспективными.

Если при нагрузках, типичных для *ITER*, происходит разрушение материалов, то при уменьшении интенсивности плазменных потоков они очень благотворно действуют на материалы. На базе этого была развита и совершенствуется до сих пор технология обработки материалов импульсными плазменными потоками.

Она получила название «плазменная технология» и имеет широкую перспективу применения.

Суть этой технологии в том, что, когда вы очень быстро нагреваете поверхность, а затем даете ей быстро охладиться, происходит крайне эффективная и быстрая поверхностная закалка материалов. По сути, на поверхности создаются слои новых материалов с замечательными свойствами. Во-первых, на порядок повышается коррозионная стойкость поверхности таких материалов. Во-вторых, увеличивается износостойкость и уменьшается коэффициент трения.

Нужно отметить, что требования, предъявляемые современной промышленностью, трудновыполнимы, а порой противоречивы. Если взять для примера газоперекачивающие турбины или турбины современных авиационных газотурбинных двигателей, хотелось бы одновременно увеличить и износостойкость, и коррозионную стойкость, и усталостную прочность лопаток, а вдобавок сделать так, чтобы при работе турбины на поверхность лопаток ничего не налипало и они оставались бы всегда чистыми. При помощи одной лишь плазменной технологии, которой мы занимаемся, этого сделать не удастся. Поэтому следующий этап, над которым мы работаем, — это разработка комбинированных методов, т.е. применение одновременно и лазерной, и плазменной обработки. Очевидно, что на этом пути открываются широкие перспективы внедрения новой технологии в высокотехнологичную промышленность, которая в будущем может одна с лихвой оправдать усилия, затраченные в ходе исследований по термоядерной тематике. ■

Подготовил Виктор Фридман

Справка


**Владимир
Евгеньевич
Черковец**

Генеральный директор ГНЦ РФ ТРИНИТИ, доктор физико-математических наук, профессор.

- ✓ Родился в Калужской области.
- ✓ В 1968 г. окончил Московский инженерно-физический институт по специальности «Экспериментальная ядерная физика», в 1971 г. — очную аспирантуру ФЭИ по специальности «Теоретическая и математическая физика».
- ✓ С 1971 по 1979 г. работал в ФЭИ научным сотрудником.
- ✓ С 1979 г. работает в ГНЦ РФ ТРИНИТИ.
- ✓ Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники.
- ✓ Сфера научных интересов: физика плазмы, лазерная физика и технологии, преобразование энергии, УТС, физика газового разряда и приэлектродных процессов.
- ✓ Автор более 120 научных работ, пяти изобретений, соавтор монографии «Физика термоэмиссионного преобразователя».
- ✓ Почетный гражданин наукограда Троицка.
- ✓ Увлечения: шахматы.


**Владимир
Михайлович
Борисов**

Начальник лаборатории и заместитель директора отделения импульсных процессов ГНЦ РФ ТРИНИТИ, доктор физико-математических наук, профессор.

- ✓ Родился в Саратовской области.
- ✓ В 1970 г. окончил Московский инженерно-физический институт по специальности «Инженер по физике твердого тела», с тех пор работает в филиале ИАЭ им. И.В. Курчатова (ГНЦ РФ ТРИНИТИ).
- ✓ В 1986 г. получил степень доктора физико-математических наук, в 2002 г. — профессора.
- ✓ Лауреат премии Совета Министров СССР (1988); участник ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.
- ✓ Автор более 200 научных публикаций в отечественных и зарубежных изданиях.
- ✓ Сфера научных интересов: создание и развитие мощных CO_2 - и эксимерных лазеров, создание плазменных источников вакуумного ультрафиолета, лидаров.
- ✓ Увлечения: художник, проводил выставки собственных работ в Германии и США.


**Александр
Григорьевич
Красюков**

Первый заместитель директора отделения, руководитель отдела технологических лазеров ГНЦ РФ ТРИНИТИ, кандидат физико-математических наук.

- ✓ Родился в Ростовской области.
- ✓ В 1972 г. окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «Двигатели летательных аппаратов», в том же году начал работать в филиале ИАЭ им. И.В. Курчатова (ГНЦ РФ ТРИНИТИ).
- ✓ В 1980 г. получил степень кандидата физико-математических наук.
- ✓ В 1992 г. возглавил разработку, создание и внедрение мобильных лазерных технологических комплексов.
- ✓ Лауреат премии Ленинского комсомола (1977), Государственной премии СССР (1984), премии Правительства РФ (2002).
- ✓ Автор 30 печатных трудов и восьми изобретений.
- ✓ Сфера научных интересов: физика низкотемпературной плазмы, квантовая электроника.
- ✓ Увлечения: футбол, дача.


**Анатолий
Михайлович
Житлухин**

Первый заместитель директора отделения магнитных и оптических исследований ГНЦ РФ ТРИНИТИ, кандидат физико-математических наук.

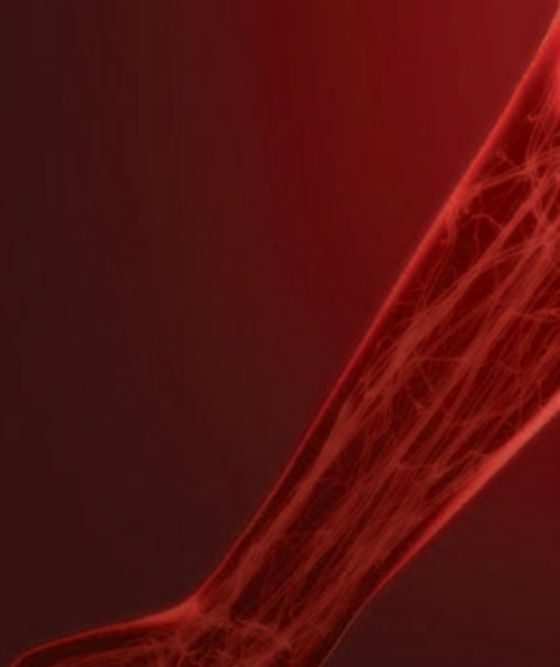
- ✓ Родился в Кировской области.
- ✓ В 1971 г. окончил МИФИ по специальности «Экспериментальная ядерная физика», сразу начал работу в филиале ИАЭ им. И.В. Курчатова (ГНЦ РФ ТРИНИТИ) и прошел весь путь от младшего научного сотрудника до заместителя директора отделения.
- ✓ с 1995 г. занимается разработкой новых схем импульсных плазменных ускорителей и руководит исследованиями по взаимодействию плазменных потоков с материалами в рамках проекта *ITER*.
- ✓ Сфера научных интересов: физика высокотемпературной плазмы, плазменные ускорители, динамика плазмы, преобразование энергии плазмы в энергию излучения.
- ✓ Увлечения: столяр-краснодеревщик; лыжи, плавание, стрельба.

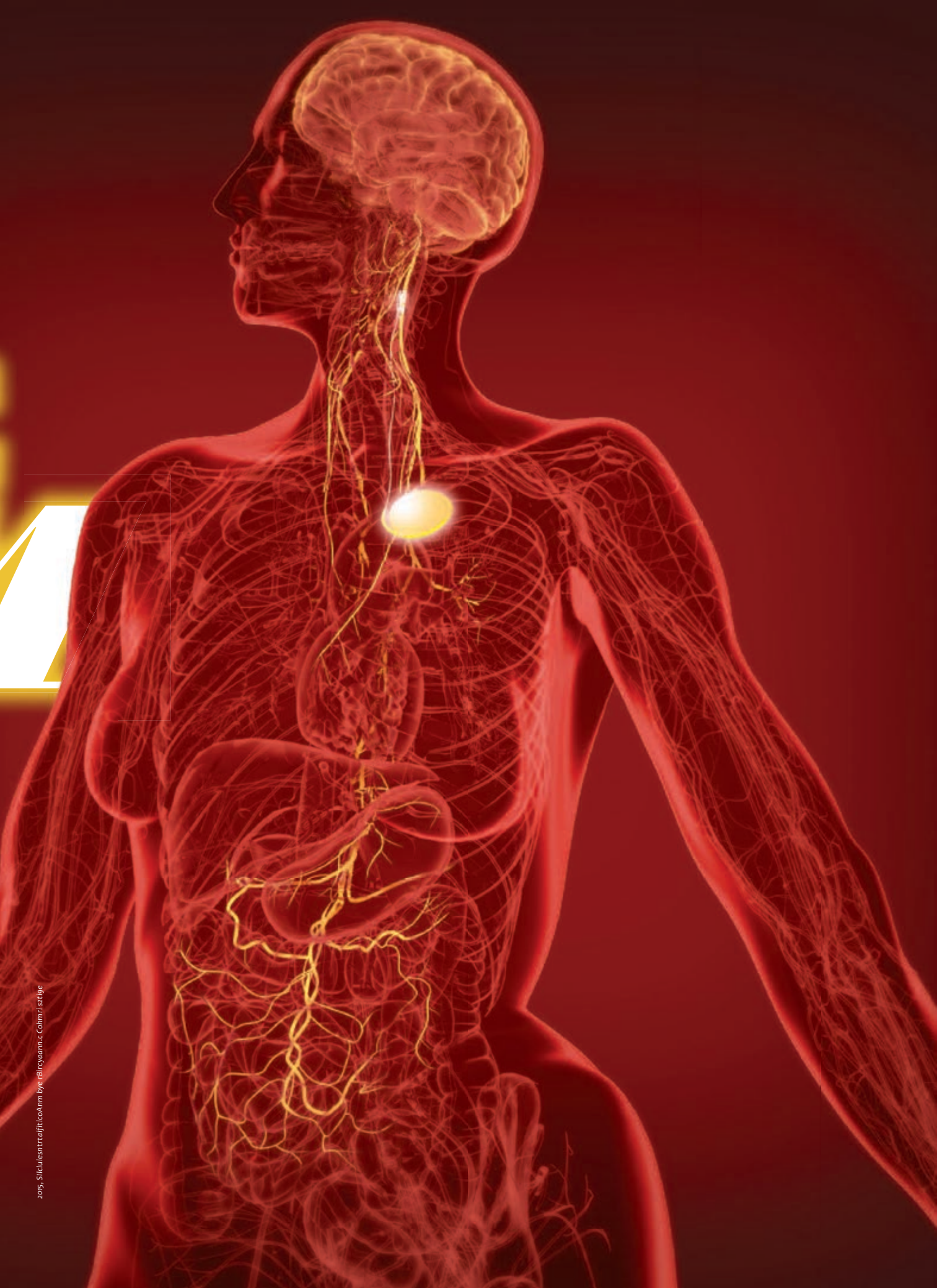
МЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ЛЕЧЕНИЕ ПОБОМ

При лечении воспалительных и аутоиммунных реакций
вместо лекарств можно использовать стимуляцию
нервной системы

Кевин Трэси





ОБ АВТОРЕ

Кевин Трэси (Kevin J. Tracey) — президент Файнштейнского института медицинских исследований, глава лаборатории биомедицинских исследований и профессор молекулярной медицины и нейрохирургии в Медицинской школе Хофстра.



Я работаю нейрохирургом и неравнодушен к воспалительным реакциям. Вместе с коллегами по лаборатории я изучаю вызывающие воспаление молекулы и ищу методы для уменьшения боли, отечности и повреждения тканей, возникающих при многих заболеваниях.

Некоторые наши исследования уже используются для лечения пациентов. В 1987 г. я опубликовал результаты эксперимента, в котором для спасения лабораторных павианов от последствий смертельной инфекции мы воздействовали на фактор некроза опухоли (ФНО) — молекулу, участвующую в воспалительной реакции. Исследование привело к открытию нового класса препаратов для борьбы с воспалительными и аутоиммунными заболеваниями и другими проблемами, связанными с нарушением работы иммунной системы.

Кроме того, поскольку я нейрохирург, меня интересует работа мозга. В конце 1990-х гг., объединив знания в области нейробиологии и иммунологии, мы сделали удивительное открытие, опять связанное с ФНО. Мы случайно обнаружили, что рефлексы, возникающие в ответ на определенные стимулы, блокируют выработку ФНО. В итоге я предложил лечить воспаление с помощью маленьких имплантируемых нейростимуляторов.

Использование нейростимулирующих электронных устройств для лечения воспаления и восстановления трудоспособности легло в основу новой дисциплины — биоэлектронной медицины. Сейчас проводятся клинические испытания на пациентах

с ревматоидным артритом и другими заболеваниями. Все основывается на вроде бы простой идее использовать естественные рефлексы организма для создания разнообразных эффективных, безопасных и недорогих альтернатив таблеткам и инъекциям. Целенаправленно воздействуя на биологические процессы, лежащие в основе болезни, нейростимуляция помогает избежать нежелательных побочных эффектов, имеющих у большинства лекарств.

Рефлекторная дуга

Нагревание, давление, свет или присутствие определенных молекул вызывают электрический сигнал в нервных клетках, которые называются чувствительными нейронами. Такая электрическая информация передается нервным клеткам в центральной нервной системе — вставочным нейронам, которые отправляют сигнал далее двигательным нейронам — третьему, конечному звену простой рефлекторной дуги. Двигательный нейрон посылает сигналы мышцам и органам, запуская разные формы поведения, как, например, отдергивание пальца от раскаленной плиты или углубление дыхания во время пятикилометровой пробежки.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В ответ на нагревание, давление, свет или химические воздействия в организме запускаются защитные процессы.
- Нервные сигналы в мозге и других частях тела подавляют выработку молекул, вызывающих воспалительную реакцию.
- С помощью имплантированного медицинского прибора можно электрически стимулировать нервные пути, чтобы помочь организму подавить воспаление.
- Новое направление медицины, в котором электрическая стимуляция используется для лечения воспаления и других заболеваний, получило название биоэлектронной медицины.

Простые рефлекторные дуги регулируют работу органов, так что вам не надо сознательно планировать все действия, необходимые для жизнеобеспечения организма. Когда вы вскакиваете с кресла и взбегаете по лестнице, чтобы ответить на телефонный звонок, вам не нужно думать о регуляции дыхания, сердечного ритма и давления крови. Рефлексы обеспечивают все необходимое, чтобы работа органов соответствовала потребностям тела и при отдыхе и при быстром беге.

Британский физиолог, нобелевский лауреат Чарлз Скотт Шеррингтон (1857–1952) предположил, что простые рефлексы, основанные на рефлекторных дугах, служат основными строительными блоками в нервной системе. Совокупность миллионов нервных сигналов, обеспечивающих рефлексы, регулирует работу всех органов тела. Но Шеррингтон не задавался вопросом, каким образом электрические сигналы, приходящие от двигательных нейронов, контролируют работу органов. Ответ оказался относительно прост: с помощью определенных веществ. Нейроны передают информацию по длинному нервному волокну — аксону, заканчивающемуся в органе, который он регулирует. В самом конце аксона расположен синапс (этот термин придумал Шеррингтон). Между окончанием аксона с одной стороны синапса и нерва или органа с другой его стороны имеется пространство — синаптическая щель. Когда электрический сигнал доходит до конца аксона, в синаптическую щель выделяются вещества-нейромедиаторы, которые связываются с рецепторами на мембране клетки, расположенной с другой стороны щели, что приводит к изменениям в работе клетки-мишени. Оказывается, таким же образом действуют и многие лекарства.

Фармацевтическая промышленность вкладывает миллиарды долларов в поиск и создание новых химических веществ, чтобы протестировать их в роли лекарств. Они всего-то должны, подобно нейромедиаторам, связываться с рецепторами. Многие популярные лекарства избирательно взаимодействуют с рецепторами, влияющими на обмен веществ и изменяющими активность генов в определенных клетках. Но они могут давать опасные побочные эффекты. Будучи проглоченными или введенными в виде инъекции, действующие вещества начинают путешествие по организму и могут вступать во взаимодействие с клетками, для которых не предназначались, что приводит к нежелательным последствиям.

Мы получим явные преимущества, если будем использовать электронное устройство, чтобы посылать сигнал по нерву и запускать таким образом

выделение нейромедиатора, похожего на лекарство. Вещества, созданные самим организмом, вырабатываются в определенных тканях в точно рассчитанном, безопасном количестве и в нужное время, что значительно снижает вероятность побочных эффектов.

Случайное открытие

В конце 1990-х гг. для лечения ревматоидного артрита, воспаления кишечника и ряда других заболеваний начали использовать средства нового типа — моноклональные антитела. Мы с коллегами способствовали их появлению. Моноклональные антитела позволяют ослабить боль, отек, повреждение тканей и другие симптомы воспаления, вызванные избытком ФНО или некоторых других веществ. Для многих пациентов эти препараты были единственным средством продолжать нормальную жизнь. Но их цена была крайне высока. Стоимость лечения для одного пациента составляет порядка \$15–30 тыс. в год, и примерно половине пациентов эти блокаторы ФНО не помогают. А самое главное — препараты могут вызывать опасные побочные эффекты, вплоть до летального исхода.

Оставался вопрос: каким образом электрические сигналы, приходящие от двигательных нейронов, контролируют работу органов? Ответ оказался относительно прост: с помощью определенных веществ

В моей лаборатории в Файнштейнском институте медицинских исследований мы с коллегами, работая над альтернативным способом блокировки ФНО, создали вещество, которое назвали *CNI-1493*. Первоначально мы предполагали вводить средство прямо в мозг при инсульте для предотвращения образования там ФНО. Это работало, но я с глубоким изумлением обнаружил, что введение небольшого количества *CNI-1493* в мозг блокирует также выработку ФНО в органах по всему телу. Сначала мы не поверили, и эксперимент был повторен много раз. И каждый раз подтверждалось, что очень малое количество *CNI-1493* в мозге, которого было явно недостаточно, чтобы охватить все органы тела, каким-то образом блокировало ФНО и за его пределами. Несколько месяцев мы еженедельно обсуждали проблему на лабораторных совещаниях, но ничуть не приблизились к разгадке.

Сначала мы предположили, что, возможно, *CNI-1493* вызывает активацию гипофиза, это стимулирует выделение гормонов, в том числе

стероидов или глюкокортикоидов, которые, в свою очередь, подавляют выработку ФНО в органах. Тогда мы удалили крысам гипофиз, повторили эксперимент, и, увы, введение *CNI-1493* в мозг по-прежнему блокировало ФНО. Это означало, что гипофиз не передавал сигнала, выключившего выработку ФНО в организме. В поисках другого объяснения мы рассмотрели маловероятную версию, что двигательные нейроны, выходящие из мозга, передавали электрические сигналы, подавляющие выработку ФНО в остальных частях тела.

Для проверки данной гипотезы мы опирались на устоявшийся в нейробиологии подход к выявлению связи между участками мозга и функциями. Много из того, что мы знаем о нервной регуляции поведения, было открыто при исследовании пациентов, получивших инсульт. Поль Брока (1824–1880) установил, что в результате повреждения небольшой области в левой задней части лобной коры нарушается способность говорить, но сохраняется понимание чужой речи — это называется моторная афазия. А Карл Вернике (1848–1905) определил, что повреждение в задней области верхней височной извилины вызывает сенсорную афазию — теряется возможность понимать речь и нарушается способность осмысленно говорить. Знание о том, что определенные области мозга отвечают за определенное поведение, позволило нам заключить, что если перерезать отдельные нервные связи между мозгом и органами, то можно выявить, какие нервы контролируют ФНО. Однако не было понятно, с чего начать, поскольку таких связей миллионы.

Планируя работу, мы наткнулись на статью Линды Уоткинс (Linda Watkins) из Колорадского университета в Боулдере, в которой было показано, что блуждающий нерв играет важную роль в передаче сенсорной информации от органов тела к мозгу. Уоткинс вводила крысам сигнальное вещество интерлейкин 1 (*IL-1*), которое вызывает воспаление и лихорадку. При внутрибрюшинном введении *IL-1* повышает температуру тела. Когда перерезали блуждающий нерв и повторили эксперимент, повышения температуры не произошло. Уоткинс пришла к выводу, что нерв передает в мозг информацию о присутствии *IL-1* и данный сигнал вызывает повышение температуры.

Независимо от этой работы Акира Ниидзима (Akira Nijima) из Медицинской школы Ниигатского университета также вводил крысам *IL-1*. Он обнаружил, что введение вещества вызывает электрическую активность блуждающего нерва, идущего в мозг. Объединив имеющуюся информацию, я предположил, что тут можно найти ключ к выявлению рефлекторной дуги для иммунной системы.

Путь к новым методам лечения

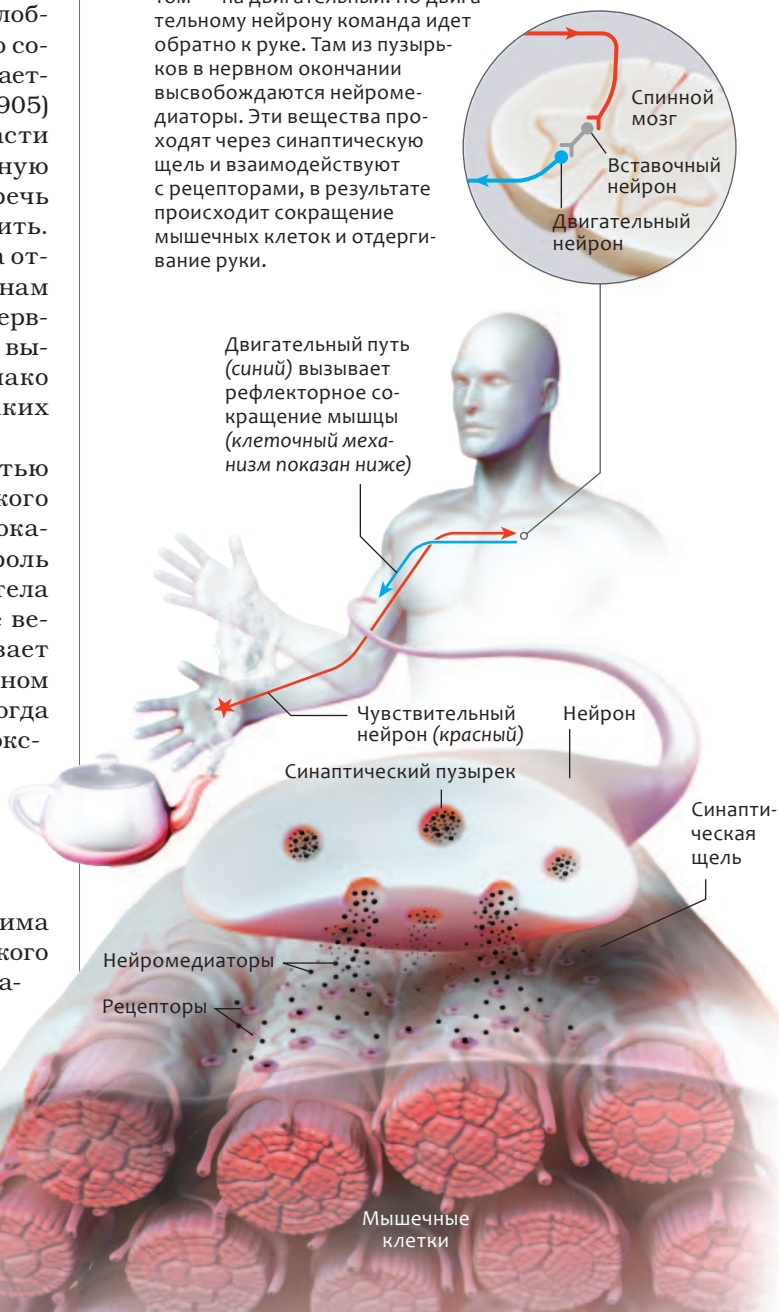
РЕФЛЕКСЫ И ВОСПАЛЕНИЕ

В нервную систему поступают сигналы от всего организма, и она контролирует, чтобы все органы работали нормально. Если внезапно прикоснуться к раскаленной плите, произойдет рефлекторное отдергивание руки. Кроме того, существует рефлекторное подавление воспалительной реакции, которое можно использовать для новых методов лечения — взамен противовоспалительных лекарств.

Принцип работы:

рефлекс не дает нам убить себя

Когда рука попадает в облако горячего пара от чайника, это вызывает определенную последовательность событий — рефлекторную реакцию в нервах и мышцах. Нервное окончание в кисти посылает электрический сигнал вверх по чувствительному нерву. Сигнал идет вверх по руке к спинному мозгу, там передается на вставочный нейрон, а потом — на двигательный нейрон. По двигательному нейрону команда идет обратно к руке. Там из пузырьков в нервном окончании высвобождаются нейромедиаторы. Эти вещества проходят через синаптическую щель и взаимодействуют с рецепторами, в результате происходит сокращение мышечных клеток и отдергивание руки.



Двигательный путь (синий) вызывает рефлекторное сокращение мышц (клеточный механизм показан ниже)

Чувствительный нейрон (красный)

Синаптический пузырек

Нейрон

Синаптическая щель

Нейромедиаторы

Рецепторы

Мышечные клетки

Новые открытия, новая терапия:

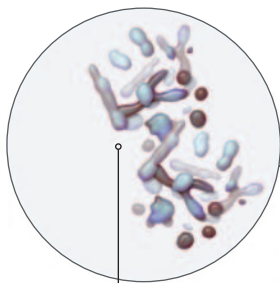
как рефлексы регулируют иммунную систему

Рефлексы, контролирующие деятельность различных органов, оказывают значительное влияние и на воспалительные реакции, которые запускает иммунная система. Блуждающий нерв, получающий и посылающий сигналы ко многим органам, играет большую роль в регуляции воспалительного рефлекса. Как показали недавние исследования, если имплантировать медицинский прибор, стимулирующий участок этого нерва, то можно заблокировать выделение вещества, усиливающего воспаление и ухудшающего симптомы ревматоидного артрита и других заболеваний.

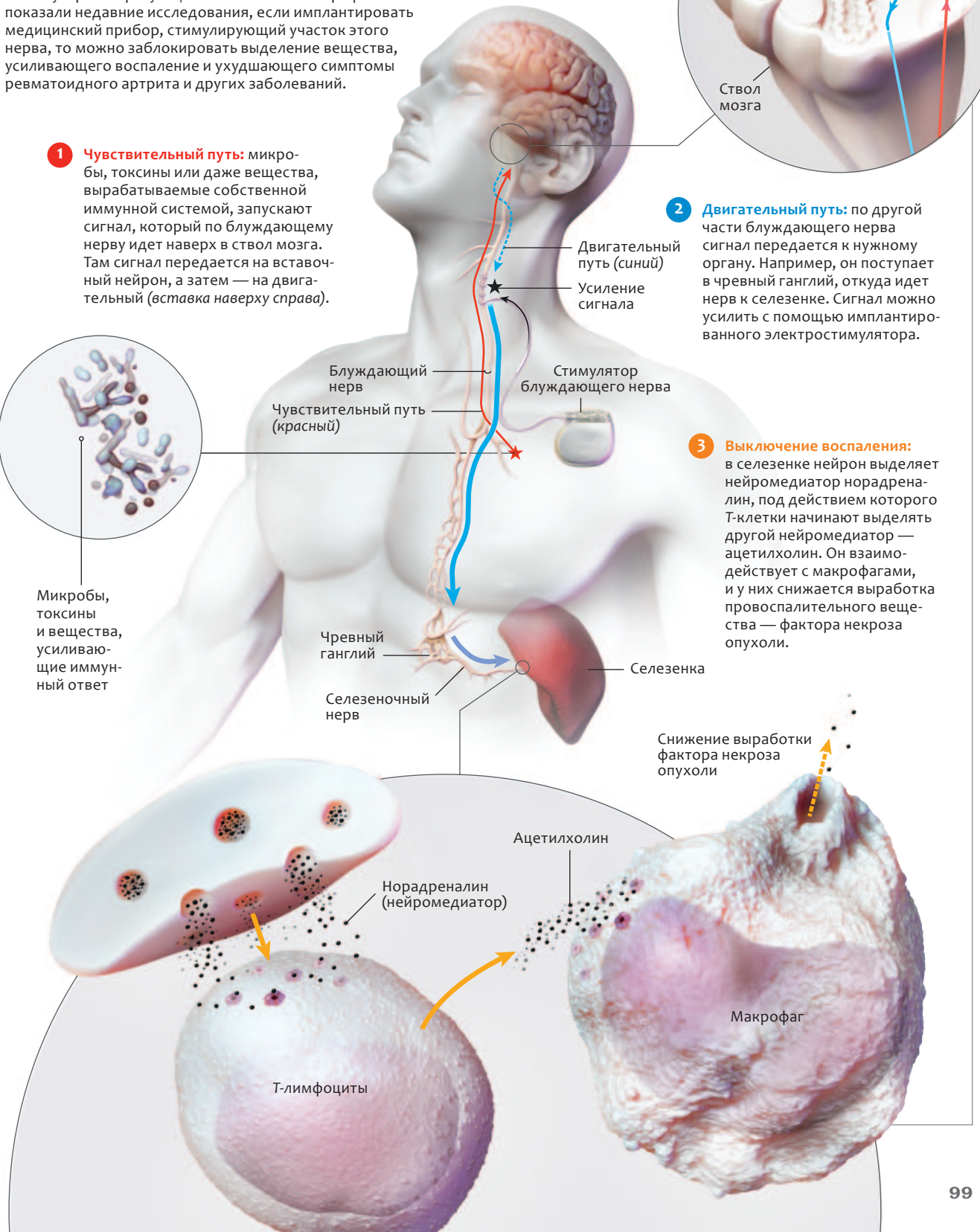
1 Чувствительный путь: микробы, токсины или даже вещества, вырабатываемые собственной иммунной системой, запускают сигнал, который по блуждающему нерву идет вверх в ствол мозга. Там сигнал передается на вставочный нейрон, а затем — на двигательный (вставка наверху справа).

2 Двигательный путь: по другой части блуждающего нерва сигнал передается к нужному органу. Например, он поступает в чревный ганглий, откуда идет нерв к селезенке. Сигнал можно усилить с помощью имплантированного электростимулятора.

3 Выключение воспаления: в селезенке нейрон выделяет нейромедиатор норадреналин, под действием которого Т-клетки начинают выделять другой нейромедиатор — ацетилхолин. Он взаимодействует с макрофагами, и у них снижается выработка провоспалительного вещества — фактора некроза опухоли.



Микробы, токсины и вещества, усиливающие иммунный ответ



Учитывая, к каким последствиям приводит стимуляция блуждающего нерва с помощью *IL-1*, я предположил, что для регуляции воспалительного процесса должен быть соответствующий сигнал от мозга к органам. Я допустил, что с помощью простого рефлекторного механизма можно прекратить воспаление и свести к минимуму возможное повреждение тканей. Это реально сделать, если сигналы идут не только вверх, от места воспаления к мозгу, но и обратно к тканям и могут остановить выработку ФНО и других веществ, вызывающих воспаление (цитокининов).

Следуя идее Шеррингтона, что простые рефлексы начинаются с сенсорного сигнала, идущего по нерву, я предположил, что «выключающий» выработку ФНО сигнал, идущий по блуждающему нерву, — часть рефлекторной дуги между мозгом и иммунной системой. Эта идея имеет большое значение для понимания механизмов защиты организма от инфекций и повреждений. Я подумал, что с помощью рефлекторных дуг, контролируемых иммунитетом, поддерживаются процессы, укрепляющие здоровье, и подавляются воспалительные реакции, препятствуя высвобождению ФНО

и других сигнальных веществ. Я сразу же предположил, что кто-то, наверное, уже думал об этом, казалось бы, очевидном биологическом механизме.

В литературе имеются доказательства того, что все основные органы иммунной системы — тимус, селезенка, печень, легкие, лимфатические узлы — имеют связи с мозгом. Но там не было ничего про исследования рефлекторных дуг, контролируемых иммунитетом. Мне предстояло оспаривать медицинскую догму. Десятилетиями иммунологи изучали, как иммунная система защищает организм независимо от нервной. Иммунитет объясняли работой лимфоцитов, моноцитов, макрофагов и других типов лейкоцитов, но никак не нейронов.

Рефлекс, который предотвращает интоксикацию и повреждение тканей, не давая иммунной системе стать чрезмерно или недостаточно активной, я назвал воспалительным. Если воспалительный рефлекс ослаблен, присутствие цитокининов может привести к осложнениям, которые возникают при аутоиммунных заболеваниях, таких как ревматоидный артрит. Теория казалась красивой, но требовала экспериментального подтверждения.

Для проверки этой идеи нужна была кропотливая хирургическая работа: перерезать блуждающий нерв в различных местах на пути от мозга к органам тела. Нерв отходит от ствола головного мозга (у людей — примерно на уровне уха) и в виде парных пучков нервных волокон слева и справа

Мишени и заболевания

КУДА БИТЬ

Биоэлектронная медицина открывает перспективы использования метода электрической стимуляции для лечения различных заболеваний и может стать альтернативой некоторым фармакологическим средствам. Стимуляция блуждающего нерва, про которую рассказано в этой статье, — всего лишь одно из направлений. Глубокая стимуляция головного мозга уже успешно используется при болезни Паркинсона. Другие способы, например стимуляция селезеночного нерва, сейчас изучаются, но пока еще не дошли до клинических испытаний.

Глубокая стимуляция головного мозга

- Болезнь Альцгеймера
- Болезнь Паркинсона
- Диабет
- Гипертония

Стимуляция блуждающего нерва

- Ревматоидный артрит
- Воспаление кишечника
- Астма
- Диабет
- Ожирение

Стимуляция печени/поджелудочной железы

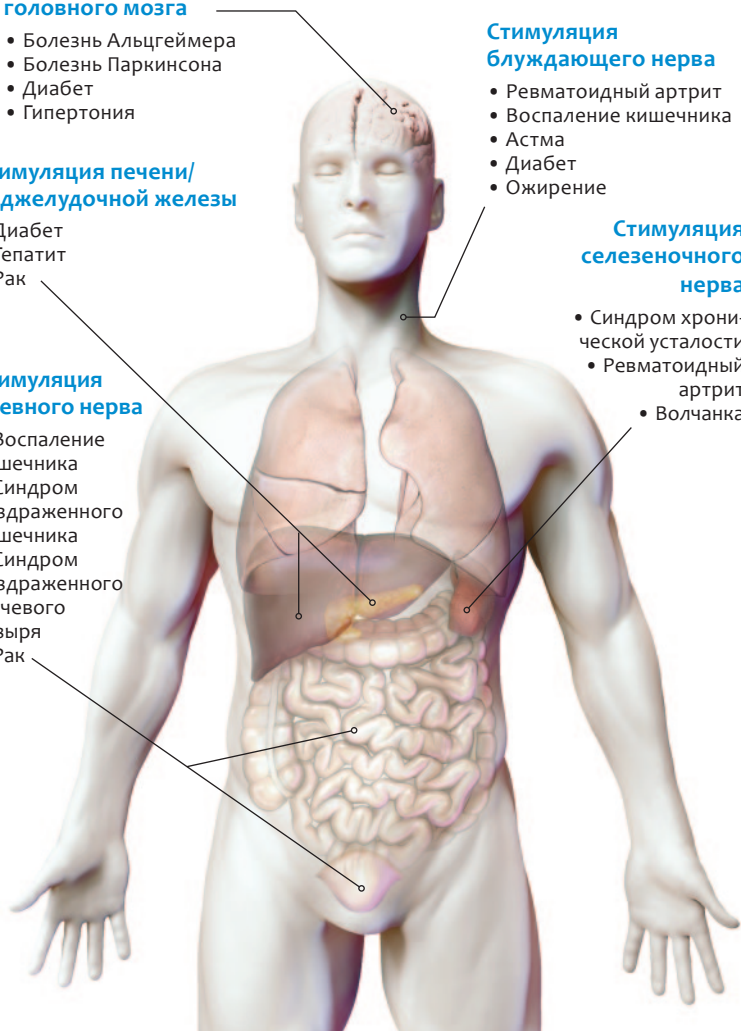
- Диабет
- Гепатит
- Рак

Стимуляция селезеночного нерва

- Синдром хронической усталости
- Ревматоидный артрит
- Волчанка

Стимуляция чревного нерва

- Воспаление кишечника
- Синдром раздраженного кишечника
- Синдром раздраженного мочевого пузыря
- Рак



проходит через шею, грудную клетку и живот. На протяжении своего пути он прямо или опосредованно взаимодействует с большинством органов тела. Используя анестезию, мы перерезали крысам блуждающий нерв в области шеи, ввели *CNI-1493* в мозг и оценили содержание ФНО в мозге, селезенке и других органах. Были получены убедительные результаты: чтобы под действием *CNI-1493* иммунные клетки прекратили выработку ФНО в органах, необходима сохранность блуждающего нерва. Двигаясь дальше вниз, мы перерезали блуждающий нерв в разных точках на пути от шеи к органам брюшной полости. Выработка ФНО выключалась только тогда, когда нерв был цел на всем своем протяжении от ствола головного мозга через шею, грудную клетку, брюшную полость и до селезенки.

Доказательства того, что блуждающий нерв передает в селезенку сигнал, прекращающий выработку ФНО, я получил в нейрохирургической операционной Медицинского центра Норт-Шорского университета с помощью прибора для стимуляции нерва. Я часто использовал его для определения местонахождения лицевого нерва, чтобы не повредить его при удалении опухоли головного мозга. Прибор похож на фонарик, который врачи носят в кармане рубашки, работает от батарейки, из него торчат небольшой проводок и лампочка. Если поместить его на нерв, он генерирует электрический разряд, стимулирующий нерв. Возникают потенциалы действия, и происходит передача информации по нервным волокнам.

Когда я стимулировал блуждающий нерв у крыс, находившихся под наркозом, это тормозило выделение ФНО во многих органах. Таким образом, было доказано, что электрические сигналы, идущие по блуждающему нерву, регулируют выработку ФНО в иммунной системе. Это вдохновило нас, поскольку означало возможность лечить воспалительные заболевания с помощью биоэлектронного устройства. Во время обеда я на салфетке нарисовал эскиз электростимулятора, подключенного к электроду. Электрод помещался на блуждающий нерв в грудной клетке пациента с ревматоидным артритом или другим воспалительным заболеванием. К сожалению, салфетка потерялась. Очень жаль, сейчас это была бы хорошая реликвия.

После более десятка лет работы в моей лаборатории и во многих других научно-исследовательских учреждениях по всему миру стала понятна физиологическая и молекулярная основа

воспалительного процесса. Многие из исследований были сосредоточены вокруг блуждающего нерва, он посылает сигналы от мозга к селезенке, печени, желудочно-кишечному тракту, сердцу и другим органам. Особенно пристальное внимание вызывала селезенка, поскольку служит основным источником ФНО. Потенциалы действия распространяются по блуждающему нерву к верхней части брюшной полости и приходят к чревному ганглию — группе нервных клеток, волокон от которых идут в селезенку. Глубоко внутри волокна выделяют норадреналин, который затем связывается с клетками иммунной системы Т-лимфоцитами. Норадреналин соединяется с рецепторами на Т-лимфоцитах, и запускает выработку следующего нейромедиатора, ацетилхолина, который связывается с рецепторами на других иммунных клетках — макрофагах и запускает

Разработка новых методов наблюдения и контроля этих путей идет очень быстро. Сейчас мы можем, оценивая содержание цитокининов, следить за ходом воспаления. В будущем мы начнем расшифровывать электрические сигналы, идущие по нервам, чтобы диагностировать, отслеживать и контролировать воспалительные заболевания

выработку ФНО в селезенке. Когда ацетилхолин связывается с другими рецепторами (*α7-nAChR*), блокируются два каскада молекулярных реакций и макрофаги прекращают производство ФНО.

Один из этих каскадов контролирует активность белка *NF-κB*, необходимого, чтобы гены в ядре макрофага инициировали создание ФНО. Другой путь регулирует высвобождение *IL-1* и других молекул, связанных с воспалением. В дальнейших работах будут изучать другие органы, которых достигает блуждающий нерв, и исследовать другие нервы, связанные с иммунной системой.

Определение анатомических и молекулярных основ этих реакций позволило показать, что нервная система может контролировать иммунный ответ. Когда инфекция или травма нарушают биохимическое равновесие, информация о таких изменениях поступает в мозг, и оттуда через моторные нейроны приходят сигналы,

регулирующие высвобождение ФНО, *IL-1* и других веществ в пораженных тканях и в кровотоке, создавая, таким образом, воспалительные реакции во всем организме.

Разработка новых методов наблюдения и контроля этих путей идет очень быстро. Сейчас мы можем, оценивая содержание цитокининов, следить за ходом воспаления. В будущем мы начнем расшифровывать электрические сигналы, идущие по нервам, чтобы диагностировать, отслеживать и контролировать воспалительные заболевания.

Мы показали, что нейронные цепи, регулирующие иммунный ответ, можно выявить с помощью перерезания или стимуляции нервов, а также при изучении путей активации генов и молекул, участвующих в иммунных реакциях. Полученные к настоящему моменту результаты позволяют надеяться, что таким образом можно будет лечить ревматоидный артрит, воспаление кишечника, рассеянный склероз и, возможно, даже диабет и рак.

Может возникнуть вопрос, не будут ли биоэлектронная медицина угрожать фармацевтической промышленности. Вероятно, биоэлектронные устройства заменят некоторые лекарства и дополнят другие. Антибиотики и прочие противoinфекционные препараты не исчезнут. Но есть надежда, что фармацевтические компании будут вкладывать все больше средств в биоэлектронную терапию

В 2011 г. в городе Мостар в Боснии и Герцеговине, через 13 лет после того, как сделал эскиз электростимулятора на салфетке, я встретил пациента с ревматоидным артритом, который был первым, кого лечили с помощью стимуляции блуждающего нерва. Это был более сложный вариант того портативного устройства, которое я использовал в своей лаборатории. Мужчина средних лет, отец маленьких детей, он рассказал мне, что его кисти рук, ступни и колени болели так, что он целые дни напролет лежал на диване и был не в состоянии ни работать, ни играть с детьми, ни вообще наслаждаться жизнью. Не имея в своей стране доступа к дорогим блокаторам ФНО, он безуспешно пытался лечиться стероидами, метотрексатом и другими

противовоспалительными лекарствами. Он согласился участвовать в клинических испытаниях, возглавляемых Паулем-Петером Таком (Paul-Peter Tak), ведущим ревматологом Академического медицинского центра Амстердамского университета и сотрудником компании *GlaxoSmithKline* (GSK). Нейрохирурги имплантировали пациенту под ключицу стимулятор блуждающего нерва, и он отправился домой, надеясь, что все будет хорошо. Началось улучшение. Несколько недель он жил почти без боли. Он начал играть в пинг-понг, потом занялся теннисом и получил травму колена. Врачи рекомендовали ему воздержаться от чрезмерной физической нагрузки — и это человеку, который несколькими неделями ранее едва мог передвигаться. Сейчас, спустя почти четыре года после операции, он по-прежнему в хорошем состоянии и может не принимать лекарства с опасными побочными эффектами, такие как, например, стероиды, повышающие вероятность инфекции, диабета и гипертонии.

В ноябре 2012 г. на конференции в Американском колледже ревматологии в Вашингтоне историю этого пациента представили Так со своей коллегой Фридой Копман (Frieda Koorman) из Академического медицинского центра и Ральфом Зитником (Ralph Zitnik) из компании *SetPoint Medical*. (Я был одним из основателей этой компании, созданной для разработки стимулятора блуждающего нерва, чтобы регулировать воспалительный рефлекс.) Из восьми пациентов с длительным тяжелым ревматоидным артритом у этого человека и еще пяти пациентов после имплантации стимулятора блуждающего нерва наблюдалось явное улучшение. Сейчас, на момент написания этой статьи, проводятся дополнительные исследования, в которых оценивается, как стимуляция блуждающего нерва в дополнение к лекарственной терапии влияет на состояние при воспалении кишечника. Если испытания пройдут успешно, биоэлектронная медицина сможет заменить ряд лекарственных препаратов.

Прогрессивные тенденции в этом направлении очевидны. В середине января 2014 г. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) одобрило устройство, стимулирующее блуждающий нерв для создания ощущения сытости у пациентов с ожирением. В 2013 г. компания GSK организовала первое совещание по биоэлектронной

медицине, где обсуждались перспективы этой области и направления дальнейших исследований. GSK выделила \$50 млн на поддержку индивидуальных проектов в данной области и объявила дополнительный приз в размере \$1 млн за инновации в сфере биоэлектроники. Кроме этого, Национальные институты здоровья недавно заявили о начале семилетней программы SPARC стоимостью \$248 млн. SPARC расшифровывается как «стимулирование периферической активности для облегчения состояния». Программа направлена на продвижение биоэлектронных технологий. Наконец, Агентство по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA) приступило к реализации программы *Electrical Prescriptions (ElectRx)* по финансированию работ по улучшению здоровья путем воздействия на нервные волокна.

Наш подход, связанный с проверкой молекулярных механизмов, лежащих в основе воспалительного рефлекса, сейчас широко применяется при изучении других заболеваний иммунной, сердечно-сосудистой, нейроэндокринной и выделительной систем, а также желудочно-кишечного тракта. Расширение знаний о конкретных нейронных цепях позволит использовать все более тонкие электроды и молекулярные методы для стимуляции нервных волокон или даже отдельных аксонов.

Может возникнуть вопрос, не будет ли биоэлектронная медицина угрожать фармацевтической промышленности. Я считаю, что биоэлектронные устройства заменят некоторые лекарства и дополнят другие. Антибиотики и прочие противомикробные препараты не исчезнут. Но я надеюсь, что фармацевтические компании будут вкладывать все больше средств в биоэлектронную терапию.

Мозг контролирует иммунную систему

Большинство людей не задумываются о рефлексах. Однако они присутствуют везде. Рефлексы помогают примитивным животным, не имеющим мозга и сознания, например червям, находить пищу и партнера, избегать хищников и защищаться от инфекций и травм. Рассмотрим *Caenorhabditis elegans*, примитивного круглого червя, питающегося почвенными бактериями. Если он случайно встречает смертельно опасных патогенных бактерий, иммунная система насекомого принимает меры для его защиты. Эволюционное преимущество имеют виды, дающие хорошо скоординированную защитную реакцию с минимальными побочными эффектами и потерями в ответ на инфекцию или повреждение, и у этого червя развилась именно такая система. Его нервная система проста, она состоит всего из 302 нейронов, отдельные из которых чувствительны к присутствию вредных микроорганизмов. С этих нейронов начинается рефлекторная дуга, контролирующая

активность иммунной системы и не дающая иммунному ответу развиться до масштабов, опасных для самого животного.

У высших позвоночных есть две биологические системы, которые защищают организм и обучаются за счет опыта, — это нервная и иммунная системы. Как выяснилось в результате открытия иммунного рефлекса, они связаны простой рефлекторной дугой, которая поддерживает иммунное равновесие. У нас, как и у примитивных круглых червей, этот механизм работает без участия сознания.

Мы живем в уникальное время в истории медицины. В нервной системе огромное количество простых рефлексов. Триллионы синапсов связывают нейроны друг с другом. Сегодня мы можем выявить отдельные рефлекторные дуги, контролирующие иммунную систему и использовать их при лечении. В начале XX в. Шеррингтон утверждал, что господство человека над другими видами на земле объясняется способностью высших отделов мозга контролировать примитивные рефлексы, и отмечал, что «рефлекторные дуги могут контролироваться сознательными процессами». В то время он не мог представить себе технологий для управления рефлексами, регулирующими иммунную систему. Но в наше время они уже есть. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

Информация о коммерческих связях: Кевин Трэси — соучредитель и консультант в SetPoint Medical. Файнштейнский институт медицинских исследований подал заявку на патент на описанную здесь работу. Трэси получал гранты от GSK.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Лозано А., Мейберг Х. Вырвать депрессию с корнем // ВМН, № 4, 2015.
- The Inflammatory Reflex. Kevin J. Tracey in *Nature*, Vol. 420, pages 853–859; December 19, 2002.
- Reflex Principles of Immunological Homeostasis. Ulf Andersson and Kevin J. Tracey in *Annual Review of Immunology*, Vol. 30, pages 313–335; April 2012.
- Invasion of the Body Hackers. Michael Behar in *New York Times Magazine*; May 25, 2014.
- Рассказ Трэси о биоэлектронной медицине см. по адресу: ScientificAmerican.com/mar2015/bioelectronic



ТВОРИМ НАНОЧУДЕСА

Наномедицина ищет новые способы борьбы с раком, заживления ран и адресной доставки лекарственных средств

Джош Фишман

Диаметр двойной спирали молекулы ДНК, носителя генетической информации, — примерно 2,5 миллиардных долей метра. Сегодня ученые имеют возможность создавать устройства сходных размеров, способные распознавать мельчайшие объекты с беспрецедентной точностью. Эти устройства — плоды многолетней кропотливой работы целых научных коллективов — открывают путь к новой медицине. Авторы обзора рассказывают нам, что такое наномедицина сегодня, какой она будет в ближайшем будущем и в отдаленной перспективе.

В рубрике «Наномедицина сегодня» речь идет о химиотерапии. Уже в наши дни противоопухолевые вещества можно доставлять прямо в опухоль, не затрагивая здоровые клетки, благодаря достижениям нанотехнологии («Борцы с раком бьют точно в цель», стр. 106). Этим же достижениям обязаны своим появлением диагностические зонды из молекул ДНК, упакованных определенным образом; они способны идентифицировать отдельные раковые клетки в теле человека. В ближайшем будущем во врачебную практику войдет «умный» перевязочный материал с нановключениями из светочувствительных частиц. Лечащий врач сможет узнавать о состоянии раны по цвету повязки, который зависит от содержания кислорода в ране («Умная повязка», стр. 109). А в отдаленной перспективе появятся лекарственные вещества, снабженные крошечными молекулярными моторчиками, которые доставят «груз» через систему кровеносных сосудов к тому месту, где он очень нужен («Запускаем наноботов!», стр. 112). Все эти плоды нанотехнологии, невидимые невооруженным глазом, изменяют лицо медицины.

Джош Фишман (Josh Fischman) — старший редактор Scientific American.

НАНОМЕДИЦИНА СЕГОДНЯ

БОРЦЫ С РАКОМ

БЬЮТ ТОЧНО В ЦЕЛЬ

*Крошечные сферические
частицы доставляют
лекарственные
вещества точно
к месту назначения,
не вызывая побочных
эффектов*

Дина Файн Марон

ОБ АВТОРЕ

Дина Файн Марон (Dina Fine Maron) —
помощник редактора *Scientific American*.



Рак ведет с нашим организмом борьбу не на жизнь, а на смерть, а лекарственные средства, которые мы используем в надежде, что они помогут одержать верх в этой борьбе, часто терпят поражение — как и сам больной. Одна из причин бесплодности попыток уничтожить раковые клетки заключается в том, что большинство препаратов плохо справляются с задачей идентификации аномальных клеток и атакуют здоровые, что приводит к опасным для жизни побочным эффектам. Вторая причина связана с тем, что раковым клеткам «протягивает руку помощи» иммунная система, которая, напротив, должна их уничтожать. Она ошибочно принимает лекарственные вещества за патогенные бактерии или другие чужеродные агенты и разрушает их. Но даже если все сложится удачно и вещество достигнет цели, оно часто не может проникнуть достаточно глубоко в плотную опухолевую ткань.

Последние достижения в области наномедицины помогают лекарственным препаратам в достижении цели. Теперь они перемещаются в теле человека не самостоятельно, а будучи заключенными

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Химиотерапевтические препараты встречаются на своем пути к опухоли множество препятствий. Их атакует сам организм, они с трудом проникают в толщу опухоли, а кроме того часто ошибаются и атакуют не только раковые клетки, но и здоровые.
- Заключение лекарственных веществ в наносферы позволяет решить эти проблемы. Тщательно подбирая состав оболочки, можно защитить ее содержимое от атак со стороны иммунной системы и высвободить активные вещества, только когда сфера проникнет в опухоль.
- Эти средства проходят последние стадии клинических испытаний. Созданы также наночастицы, которые выполняют одновременно диагностические и терапевтические функции.



Малый размер и защитная оболочка наносфер повышают прицельность терапии и позволяют избежать разрушения лекарственных веществ в организме

времени, но я уверен, что полученные результаты ускорят разработку новых версий», — говорит Катаока.

Камуфляж для химиопрепаратов

Применение нанотехнологий в химиотерапии — идея отнюдь не новая. Такие лекарственные средства, как абраксан, назначаемый при метастазирующем раке молочной железы, и элигард, используемый на поздних стадиях рака простаты, — это настоящие нанопрепараты. Но они действуют только

в защитную оболочку. Тщательно подбирая компоненты оболочки — обычно это сферы диаметром в несколько миллиардных долей метра, — можно избежать иммунного ответа. Казунори Катаока (Kazunori Kataoka) и его коллеги из Токийского университета заключили химиотерапевтические вещества в сферическую оболочку диаметром с вирус гепатита С — это примерно в 200 раз меньше размеров эритроцита. На молекулярном уровне такие сферы похожи на вещества, вырабатываемые самим организмом. Они легко проникают в толщу опухолевых тканей и не затрагивают здоровые клетки.

Разные модификации наносфер, изготавливаемых Катаокой, можно заполнять целевыми лекарственными веществами; сегодня они находятся на финальных стадиях клинических испытаний в странах Азии. Показано, что при таком способе целевой доставки химиопрепаратов замедляется или вообще останавливается рост опухолей молочной железы и поджелудочной железы. Вторую стадию испытаний — теперь в США — проходит еще один нанопрепарат. «В подобных испытаниях начальные стадии занимают очень много

на определенные типы опухолей. Наносферы же можно создавать разной архитектуры и наполнять разными лекарственными веществами. Нанотерапия, проходящая сейчас тестирование, по видимому, будет особенно эффективна на поздних стадиях рака.

Большинство наносфер последних модификаций изготовлены из мягкого эластичного материала и испещрены молекулами полиэтиленгликоля, который связывает воду, а в данном случае — физиологические жидкости. Они нейтрализуют электрические заряды наносфер, способных вызвать иммунный ответ.

Водный слой сглаживает также любые выступы на поверхности наночастиц, которые могли бы «насторожить» иммунную систему и навести ее на мысль, что перед ней — бактериальная частица, покрытая антигенами. Размер наносфер — немного больше, чем у молекул химиотерапевтических веществ, — гарантирует, что они не будут разрушаться ферментами организма-хозяина и успеют дойти до цели. Так, первый из одобренных противораковых нанопрепаратов

Выследить и доложить

ЗОНД ДЛЯ РАКОВЫХ КЛЕТОК

Сферические наночастицы из ДНК выскивают раковые клетки в теле человека

Рак — мобильная субстанция. Клетки крупных опухолей отрываются от основной массы, циркулируют по всему телу и образуют новые очаги опухолевого роста (метастазы). В поисках таких клеток ученые возлагают большие надежды на необычные сферические частицы, состоящие из молекул ДНК. Частица похожа на шарик из пенополистирола, весь утыканный крошечными зубочистками. На самом деле это не зубочистки, а одноцепочечные молекулы ДНК, идущие из центра частицы, которым предстоит найти комплементарные участки в ДНК раковых клеток и связаться с ними. После каждого такого связывания к самому кончику молекулы ДНК, выступающей из сферы, перемещается флуоресцирующая белковая молекула, испускающая свет, который свидетельствует о наличии раковой клетки. «Чем свет ярче, тем больше молекул ДНК раковой клетки связалось с наночастицей», — говорит Чад Миркин, химик, директор Международного института по наночастицам в Северо-Западном университете.

Вначале все эти процессы исследуют на пробах крови больных. Поскольку локальная концентрация молекул ДНК, обрамляющих сферическую частицу, выше, чем концентрация таких же молекул, но находящихся в цитоплазме в свободном состоянии, то вероятность комплементарного связывания в первом случае тоже будет выше. Кроме того, как показывает опыт, его прочность увеличивается в 100 раз. Наносферы из ДНК уже применялись в клинике для быстрой диагностики рака. С их помощью можно также исследовать реакцию раковых клеток на химиотерапию и, основываясь на результатах, подобрать оптимальную схему лечения для каждого больного.

Джошуа Криш

нового поколения, доксил, остается в кровотоке в целостности и сохранности гораздо дольше, чем его обычный «родственник», доксорубин. (Оба они используются при лечении больных, страдающих раком яичников.) Все это повышает прицельность терапии и помогает избежать разрушения химиопрепаратов в организме.

И наконец, еще одно преимущество нанотерапии. Сферы, содержащие лекарственный препарат, разрушаются в кислой среде; в крови с ее близкой к нулю кислотностью они остаются герметичными и лопаются, только проникнув в опухолевую ткань, где кислотность гораздо выше. Таким образом, активные вещества лишаются защиты, лишь когда попадают непосредственно в опухоль.

Для того чтобы еще больше повысить управляемость наночастиц на пути к цели и достичь максимальной специфичности в отношении раковых клеток, их поверхность можно покрыть антителами, которые охотно связываются с поверхностными белками, присутствующими в больших количествах на наружной оболочке раковых клеток. Один из таких белков, EGFR, использовал в своих экспериментах биоинженер Дин Хо (Dean Ho) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Его результаты, опубликованные в 2013 г. в журнале *Advanced Materials*, показали, что наночастицы, покрытые антителами, действительно связываются с раковыми клетками.

Наночастицы могут служить не только транспортным, но и лекарственным средством. Исследователи из Северо-Западного университета сконструировали частицы из крупинки золота и молекул РНК, отобранных по их способности выключать гены, ассоциированные с раком. Благодаря малым размерам и другим пока невыясненным свойствам такие частицы преодолевают одно из самых трудных для лекарственных веществ препятствий — гематоэнцефалический барьер. В октябре 2013 г. появилось сообщение, что, по данным опытов на животных, они проникают в головной мозг и атакуют образующуюся там опухоль. «У мышей под действием этих препаратов опухоль уменьшалась, но в конце концов они все-таки умирали от рака», — говорит Александр Штег (Alexander Stegh) из Северо-Западного университета. Каким образом данный барьер преодолевается, пока неясно. Возможно, наночастицы связываются с рецепторами на поверхности кровеносных сосудов, помогающими им продвигаться дальше.

Еще один тип наночастиц изготавливают из молекул нуклеиновых кислот. Они предназначены для обнаружения раковых клеток, циркулирующих в крови. Чад Миркин (Chad Mirkin), химик из Северо-Западного университета, руководитель проекта, надеется, что такие исследования приведут к созданию наночастиц, которые будут применяться как в диагностических целях, так и в терапевтических, уничтожая трудновывявляемые раковые клетки прежде, чем они образуют новые очаги опухолевого роста. Конструирование крошечных, но сильных «игроков» такого рода будет выдающимся достижением в области наномедицины. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Nanoparticle PEGylation for Imaging and Therapy. Jesse V. Jokerst et al. in *Nanomedicine*, Vol. 6, No. 4, pages 715–728; June 2011. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3217316
- Nanomedicine: Towards Development of Patient-Friendly Drug-Delivery Systems for Oncological Applications. R. Ranganathan et al. in *International Journal of Nanomedicine*, Vol. 7, pages 1043–1060. Published online February 23, 2012. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3292417
- Progress of Drug-Loaded Polymeric Micelles into Clinical Studies. Horacio Cabral and Kazunori Kataoka in *Journal of Controlled Release*, Vol. 190, pages 465–476; September 28, 2014.
- О последних достижениях в области наномедицины см. по адресу: ScientificAmerican.com/apr2015/nanomed-advance

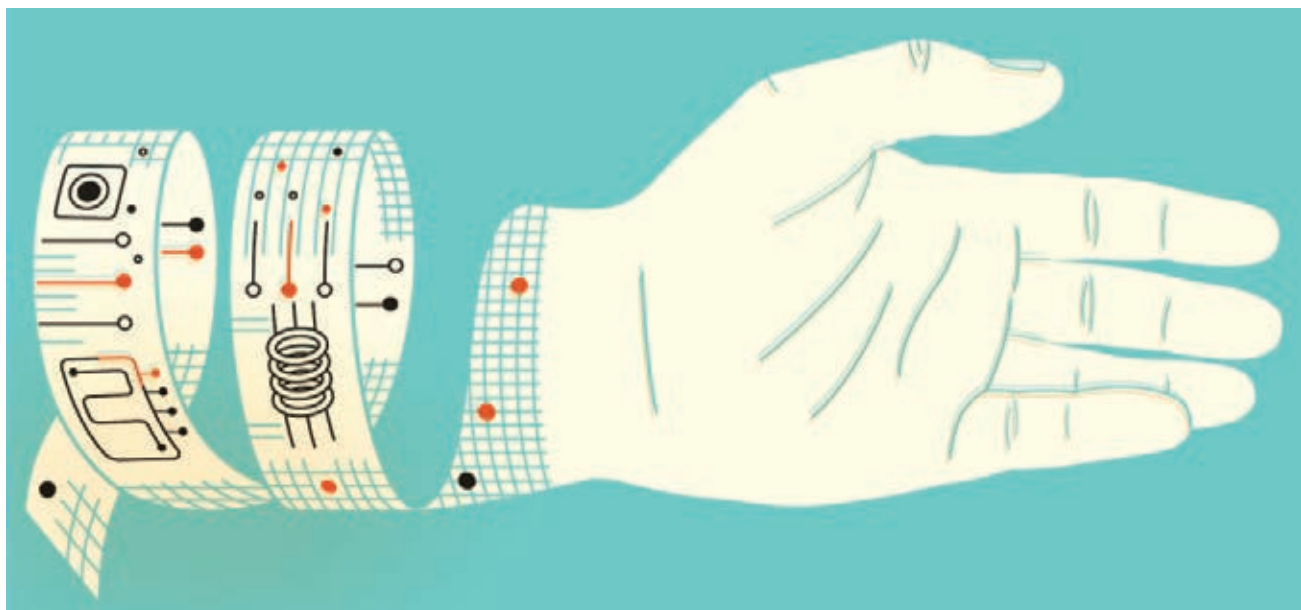
Новые материалы будут не только защищать рану, но также следить за ходом лечения и поставлять лекарства в зону поражения

Марк Пеплоу

НАНОМЕДИЦИНА ЗАВТРА

УМНАЯ

ПОВЯЗКА



Раненых солдат, вернувшихся из Афганистана, лечили современными методами. Микрохирурги из Военно-медицинского центра в Сан-Антонио заменяли поврежденные ткани здоровыми и имплантировали в них кровеносные сосуды. Но исход лечения оставался непредсказуемым. Иногда сосуды не снабжали пересаженный материал кровью в том количестве, какое необходимо для его приживления. Когда Конор Эванс (Conor Evans), химик, работающий в Гарвардской медицинской школе и Уэллманском центре фотомедицины при

Массачусетской больнице, посетил в 2010 г. Сан-Антонио и осмотрел солдат, он обнаружил, что устройства, которые отслеживают содержание кислорода в транспланте, не работают надлежащим образом и не подают сигнал тревоги, когда начинается отторжение. «То, что делают врачи, — это фантастика, — сказал он. — Но используемые датчики сводят все усилия на нет».

И Эванс решил усовершенствовать повязку, начав с того, что пропитал ее растворами красителей, которые реагируют на содержание в ней кислорода.

«Цвет повязки менялся, как меняется цвет огня светофора: от зеленого к желтому и оранжевому до красного — в зависимости от концентрации кислорода», — объясняет Эванс. После успешных испытаний на животных в 2014 г. он получил разрешение на проведение клинических испытаний.

Взяв на вооружение появившуюся недавно возможность работать с материалами размером в миллиардные доли метра, Эванс и его коллеги смогут не только гораздо точнее оценивать ход заживления, но и превращать повязку в систему адресной доставки лекарственных средств. «Нанотехнологии позволяют и контролировать количество высвобождаемых веществ, и точно попадать в нужное место раны», — говорит Пола Хаммонд (Paula Hammond), химик из Массачусетского технологического института. Это гораздо лучше, чем наводнять организм лекарствами, из которых только малая часть достигнет цели.

Тайное становится явным

С плохим заживлением ран по причине дефицита кислорода сталкивается ежегодно более 6 млн жителей США, а их лечение обходится в \$25 млрд. Обычно для определения концентрации кислорода в поврежденных тканях хирурги вводят в них игольчатые электроды, но это болезненная процедура. К тому же измеряется концентрация только в одной точке. Повязка Эванса позволяет получить картину распределения кислорода по всей ране.

В ней используется смесь двух красителей. При освещении повязки синим цветом один из них испускает ярко-красный свет, второй — зеленый. Молекулы кислорода тушат красную флуоресценцию, и если прилегающие ткани им богаты, повязка становится зеленой. Но если рана плохо снабжается кислородом, на ней появляются желтые, оранжевые и, наконец, красные пятна, сливающиеся в одно большое ярко-красное пятно — сигнал тревоги.

Ключевой элемент методики — наночастицы, присоединяемые к молекулам красного красителя.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Повязку, защищающую рану, можно использовать как систему целевой доставки лекарственных веществ, применяя наноматериалы.
- Помещая между слоями повязки лекарственные вещества в виде наночастиц, можно контролировать количество препарата, поступающего к пораженному участку.
- Повязки-детекторы позволяют следить за состоянием обширных ран. Кроме того, из них в рану поступают молекулы, которые блокируют синтез белков, отрицательно влияющих на заживление.
- Послойное покрытие стентов наноматериалами, которые включают ДНК, кодирующую некий терапевтический белок, ускоряет заживление, обеспечивая длительное поступление последнего к пораженному месту.

ОБ АВТОРЕ

Марк Пеплоу (Mark Peplow) живет в Кембридже, занимается научно-популярной журналистикой.



Каждая такая частица представляет собой так называемый дендример, разветвленную, похожую на дерево, молекулу до двух нанометров в поперечнике. Эта молекулярная «завеса» предотвращает тесное сближение соседних молекул и взаимное тушение их флуоресценции. Она также физически блокирует доступ части молекул кислорода к красителю: на фоне низкого начального содержания кислорода любые изменения становятся более заметными.

Медицинская сестра может сфотографировать повязку и переслать снимок врачу, который при необходимости скорректирует циркуляцию крови и кислорода в проблемных участках раны. Повязку Эванса можно использовать и в домашних условиях, консультируясь с врачом через Интернет.

Группа, которой руководит Эванс, синтезировала альтернативные красители, более эффективно «превращающие» синий цвет в красный. «Наши новые повязки испускают такой яркий свет, что его видно даже при крайне низких концентрациях красителя в залитой солнцем комнате», — говорит Эванс и добавляет: — В будущем такая повязка после усовершенствования сможет применяться для введения в рану лекарственных веществ».

Целительная повязка

В лаборатории Хаммонд уже проводятся тестирования повязок, пропитанных наночастицами с лекарственными веществами. Оболочки этих частиц таковы, что через них медленно выходят наружу молекулы РНК или белков, блокирующие клеточные процессы, которые мешают заживлению ран. Так называемые малые интерферирующие РНК (миРНК), связываясь с генами, которые кодируют белки, отрицательно влияющие на процесс, выключают эти гены.

Можно «загрузить» миРНК в сферические капсулы диаметром примерно 200 нм, оболочка которых состоит из фосфата кальция, поместить их между двумя слоями положительно заряженного биополимера и покрыть одну поверхность такого «сэндвича» отрицательно заряженным клеящим веществом. До 25 «сэндвичей», сложенных в стопку, образуют лоскут толщиной примерно полмикрона, который помещают на нейлоновую основу.

Ферменты, присутствующие в теле больного, постепенно разрушают слои, из повязки медленно, в течение недели, высвобождаются молекулы РНК и проникают в рану. Постепенность процесса уменьшает вероятность побочных эффектов, часто

СЕРДЦЕ ТРЕБУЕТ НЕЖНОГО ОБРАЩЕНИЯ

Пластичные электронные цепи, не повреждающие мягкие ткани тела человека, можно вводить в различные органы, чтобы следить за их работой

Жесткость электронных устройств плохо сочетается с мягкостью тканей тела человека. Они не меняют форму в унисон с изменением формы органов при их функционировании, а их острые края повреждают ткани. Это серьезно затрудняет снабжение ими таких медицинских инструментов, как катетеры.

«Но даже самые твердые материалы становятся гибкими при уменьшении их толщины», — говорит Джон Роджерс (John Rogers), специалист по материаловедению из Иллинойского университета в Эрбане и Шампейне. Он создает гибкие слои толщиной всего 10 нм из применяемых в электронике материалов для создания устройств, которые можно будет помещать в те же самые органы, например в сердечную мышцу, без ущерба для их работы. Роджерс называет свои устройства «мягкой электроникой».

В сетях, которые создает Роджерс, должны использоваться только биосовместимые проводники, например из кремния или нитрида галлия, чтобы компьютерные сигналы не испытывали помех. Чтобы решить проблему хрупкости кремния, он уменьшил толщину изделий до нескольких нанометров, но без утраты проводимости. Слой кремния толщиной примерно 10 нм больше похож на резиновую ленту, чем на стекло.

В опытах на животных Роджерс уже апробировал гибкие мембраны с встроенными электронными элементами, которыми можно окружить работающее сердце, чтобы следить за его состоянием. Если полученные им положительные результаты подтвердятся, Роджерс собирается снабдить своими электронными мониторами устройства, используемые для расширения кровеносных сосудов. Это помогло бы точнее локализовать места их сужения. «Чисто механические устройства можно превратить в тончайшие хирургические инструменты», — говорит Роджерс.

Джошуа Криш

возникающих при однократном введении препарата в больших дозах, и гарантирует присутствие лечебного средства на всем протяжении процесса заживления.

Хаммонд использовала свою послынную повязку для введения в организм подопытных мышей, больных диабетом, белкового препарата, который способствует заживлению язв, характерных для данного заболевания. Этот препарат сейчас применяется в составе мази, но, по словам Хаммонд, его эффективность невысока: после быстрого высвобождения активного вещества он перестает действовать уже через 24 часа. В отличие от этого повязка обеспечивает равномерное поступление медикамента в течение пяти-семи суток, что создает оптимальную его концентрацию в пораженном месте.

Послойная компоновка помогает при лечении больных с поражениями коронарных артерий, обусловленными образованием бляшек. Традиционное лечение таких больных заключается в расширении артерии путем баллонирования и введения в место сужения сетчатой трубки из нержавеющей стали — так называемого стента. Иногда в стенты включают вещества, предотвращающие схлопывание артерии, но больные в любом случае должны принимать препараты, уменьшающие риск отрыва тромбов в месте проведения операции.

По мнению Дэвида Линна (David Linn), химика из Висконсинского университета в Мадисоне, достойной альтернативой в таких случаях выступает применение ДНК, постепенно высвобождаемой из структур с нанопокрывтием. Чтобы ускорить естественный процесс залечивания пораженных сосудов, который включает синтез нескольких белков, Линн покрыл стент несколькими слоями сегментов ДНК, кодирующих «лечебный» белок, и биодegradуемого полимера; толщина каждого слоя составила несколько нанометров. Изменяя число слоев, можно регулировать количество проникающей в стенку сосуда ДНК. Эксперименты на свиньях показали, что ДНК высвобождается из стента и попадает в прилегающие ткани в течение многих дней. Слегка модифицировав дизайн покрытия, можно изменить скорость высвобождения ДНК. «Мы можем менять скорость высвобождения и время в диапазоне от нескольких секунд до месяцев, изменяя структуру полимера», — говорит Линн.

Приемы, о которых мы здесь говорили, пригодны для решения широкого круга задач. Линн использует свой метод для высвобождения препаратов (коротких сегментов белковых молекул), прерывающих коммуникацию между бактериями. Разобщенные бактериальные клетки не могут образовывать плотные пленки, которые защищают их от антибиотиков. Эванс, в свою очередь, с помощью флуоресцирующих красителей, вводимых в образцы тканей, выявляет опухолевые клетки, плохо снабжаемые кислородом и резистентные к химиотерапии. В этом году он планирует опробовать свой метод в опытах на животных. Таким же способом можно идентифицировать патогенные бактерии в ранах. «Применению наноматериалов нет границ!» — считает Эванс. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Polyelectrolyte Multilayers Promote Stent-Mediated Delivery of DNA to Vascular Tissue. Eric M. Saurer et al. in *Biomacromolecules*, Vol. 14, No. 5, pages 1696–1704; May 13, 2013.
- Nanolayered siRNA Dressing for Sustained Localized Knockdown. Steven Castleberry in *ACS Nano*, Vol. 7, No. 6, pages 5251–5261; June 25, 2013.
- Surface Coatings That Promote Rapid Release of Peptide-Based AgrC Inhibitors for Attenuation of Quorum Sensing in *Staphylococcus aureus*. Adam H. Broderick et al. in *Advanced Healthcare Materials*, Vol. 3, No. 1, pages 97–105; January 2014.

ОБ АВТОРЕ

Ларри Гринемейер (Larry Greenemeier) — помощник редактора журнала *Scientific American*.



НАНОМЕДИЦИНА В БЛИЖАЙШИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

ЗАПУСКАЕМ НАНОБОТОВ!

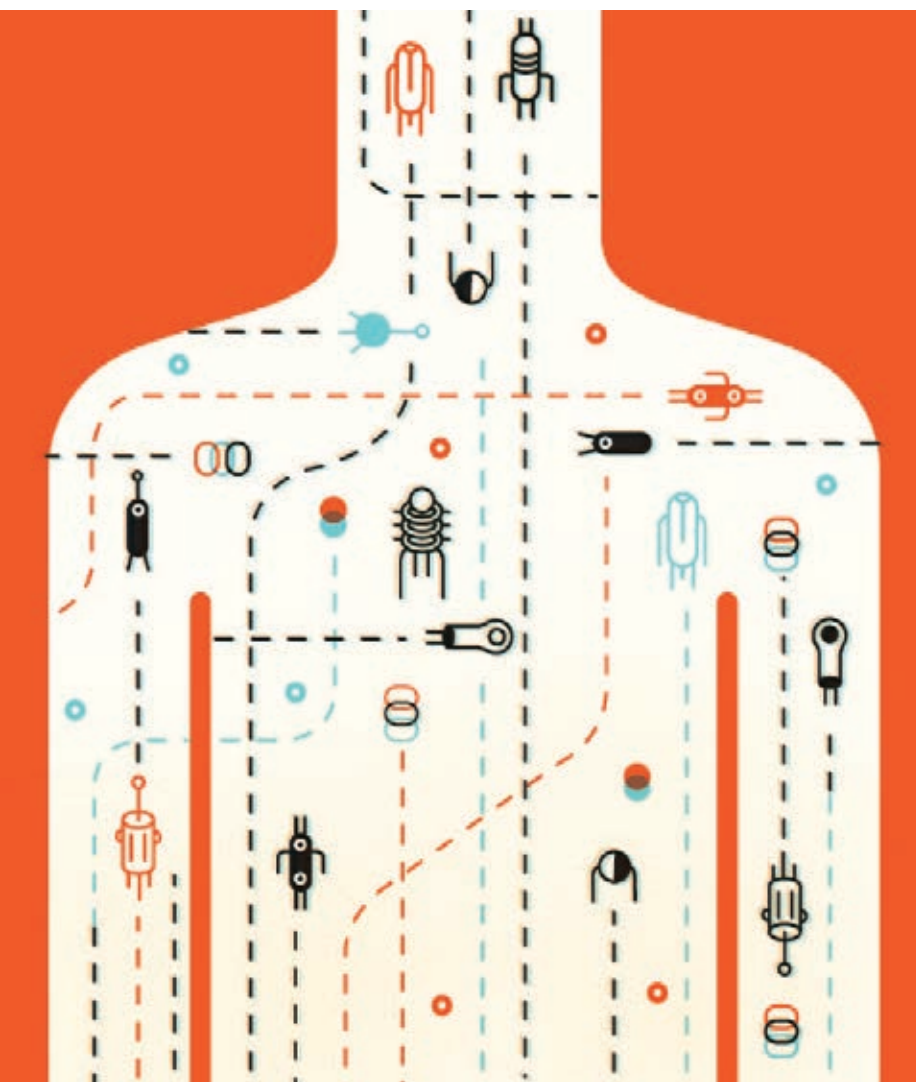
Первый шаг к созданию дистанционно управляемых лекарственных препаратов уже сделан, но решение всех технических проблем может занять более 20 лет

Ларри Гринемейер

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Когда-нибудь флотилии нанопрепаратов и устройств, использующих биосовместимые двигатели и топливо, смогут самостоятельно добираться в любое место в организме человека.
- Прежде чем это станет возможным, необходимо добиться того, чтобы нанопрепараты и устройства в своем перемещении в организме не мешали его работе и не разрушали ткани.
- Сейчас биоинженеры разрабатывают способ целевой доставки наночастиц с помощью магнитных полей и ультразвука.
- Альтернативный способ адресной доставки препаратов основан на изготовлении нанороботов из сегментов ДНК. Некоторые из уже созданных устройств работают как контейнеры, которые открываются и выгружают содержимое только при определенных условиях.

Согласно прогнозам экспертов в области наномедицины, в долгосрочной перспективе появятся крошечные терапевтические средства, которые смогут самостоятельно двигаться к заданной — и никакой другой — цели, в какой бы части тела та ни находилась. Прибыв на место, такие самонаводящиеся устройства смогут решать самые разные задачи — от высвобождения лекарственных веществ до корректировки в реальном времени хода лечения. Выполнив свою миссию, они подвергнутся биодegradации, исчезнув без следа. Эти так называемые нанороботы будут изготавливать из биосовместимых материалов, магнетиков и даже из цепочек ДНК. Критерием при отборе материала будут служить наличие у них определенных свойств на атомном уровне и способность беспрепятственно перемещаться внутри тела, не вызывая иммунной реакции и не повреждая ткани.



На реализацию этой идеи потребуется десятилетие, а возможно и два, но исследователи уже обдумывают решение некоторых технических проблем. Самая главная из них — как убедиться, что наноустройства доберутся до цели.

Энергия волн

Большинство применяемых сегодня лекарственных веществ распространяются в организме с током крови, куда они попадают непосредственно путем инъекции либо — при пероральном приеме — всасываются из желудочно-кишечного тракта. И в том и в другом случаях они попадают как в место назначения, так и туда, где могут нанести вред. В отличие от этого нанопрепараты будут направляться только к опухоли или другим целевым тканям и именно там высвобождать активные вещества.

«В ближайшей перспективе дистанционное управление нанопрепаратами будут скорее всего осуществлять магнитные поля и ультразвуковые волны», — говорит Джозеф Ван (Joseph Wang), заведующий кафедрой наноинженерии, профессор Калифорнийского университета в Сан-Диего. В первом случае лекарственные вещества начинают наночастицами оксида железа или никеля и помещают лабораторное животное в поле нескольких постоянных магнитов. Меняя их расположение, управляют перемещением наночастиц, заставляя их двигаться к цели. Во втором случае лекарственные препараты помещают в нанопузырьки и направляют на них ультразвуковые волны. Под действием энергии волны пузырек лопаются с силой, достаточной для проникновения его содержимого глубоко в опухолевую или другую ткань.

В прошлом году сотрудники Килского и Ноттингемского университетов в Англии, работающие над проблемой лечения переломов, прибегли к некоему ухищрению: они присоединили к стволу клетки наночастицы оксида железа, а затем ввели одни клетки в бедро эмбриона цыпленка, а другие — в искусственный каркас кости, изготовленный из коллагенового гидрогеля. Как только стволовые клетки достигли места перелома, исследователи включили осциллирующее магнитное поле, с тем чтобы быстро

деформировать наночастицы, которые передали это деформирующее воздействие стволовым клеткам. В результате последние стали быстро превращаться в клетки костной ткани. Рост новой ткани происходил в обоих случаях, но место срачивания было шероховатым. «Мы надеемся, что, добавляя различные факторы роста к начиненным оксидом железа стволовым клеткам, мы сделаем процесс заживления более мягким», — говорит Джеймс Хенсток (James Henstock), приглашенный постдокторант из Килского медицинского научно-технического института.

Автономные нанопрепараты

Основное препятствие на пути практического применения магнитного и акустического методов заключается в том, что управлять всеми процессами приходится извне, что не совсем удобно, а кроме

Располагая фрагменты наноустройств так, чтобы под действием электростатики они складывались в определенные структуры, можно было бы создавать конструкции, предназначенные для достижения тех или иных целей. Например, некоторые сегменты ДНК могут складываться в «контейнеры», которые будут открываться и высвобождать содержимое только в том случае, когда контейнер свяжется с белком, играющим важную роль в ходе патологического процесса

того магнитные поля и ультразвуковые волны должны проникать глубоко в тело, что вряд ли возможно. Проблему может решить разработка автономных микродвигателей.

Такие микродвигатели могли бы работать за счет энергии, высвобождаемой в ходе химических реакций, протекающих в самом организме, если бы не опасность интоксикации. Так, при окислении глюкозы, присутствующей в крови, образуется перекись водорода, которая могла бы использоваться в качестве топлива. Но именно этот конкретный метод непригоден для работы в течение долгого времени. Перекись водорода разъедает живую ткань, а глюкоза в том количестве, в каком она присутствует в организме, не может поставлять столько перекиси водорода, сколько нужно для работы микродвигателей. Более перспективным представляется использование в качестве источников энергии физиологических жидкостей, например желудочного сока или воды.

Однако прецизионное управление автономными устройствами может оказаться затруднительным. Тот факт, что наночастицы способны перемещаться куда угодно, вовсе не означает, что они будут двигаться к заданной цели. Автономность пока представляется лишь очень отдаленной перспективой, но связанные с ней разработки помогли бы удостовериться, что нанопрепараты активируются только тогда, когда оказываются в надлежащем окружении.

Для того чтобы решить данную задачу, биоинженеры приступили к созданию наноустройств из синтетических форм ДНК. Располагая фрагменты этих молекул так, чтобы под действием электростатики они складывались в определенные структуры, можно было бы создавать конструкции, предназначенные для достижения тех или иных целей. «Например, некоторые сегменты ДНК могут складываться в "контейнеры", которые будут открываться и высвобождать содержимое только в том случае, когда контейнер свяжется с белком, играющим важную роль в ходе патологического процесса, или окажется в кислой среде внутри опухоли», — говорит Ямуна Кришнан (Yamuna Krishnan), профессор химии из Чикагского университета.

Кришнан и ее коллеги уже рисуют в своем воображении современные модульные конструкции из ДНК, программируемые для решения различных задач, например для сборки других нанороботов. Однако синтетическая ДНК — дорогой материал,

он стоит примерно в 100 раз больше, чем традиционные материалы, используемые для доставки лекарств. «Это не стимулирует фармацевтические компании к вложению денег в столь затратное предприятие», — говорит Кришнан.

Все, о чем здесь шла речь, может оказаться гораздо более сложным, чем создание флота умных подводных лодок, таких как субмарина «Протей» из вышедшего на экраны в 1966 г. кинофильма «Фантастическое путешествие». Тем не менее работы по созданию нанороботов — переносчиков лекарственных веществ будут продолжаться. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская, С.Э. Шафрановский

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Motion Control at the Nanoscale. Joseph Wang and Kalayil Manian Manesh in Small, Vol. 6, No. 3, pages 338–345; February 5, 2010.
- Designer Nucleic Acids to Probe and Program the Cell. Yamuna Krishnan and Mark Bathe in Trends in Cell Biology, Vol. 22, No. 12, pages 624–633; December 2012.
- Remotely Activated Mechanotransduction via Magnetic Nanoparticles Promotes Mineralization Synergistically with Bone Morphogenetic Protein 2: Applications for Injectable Cell Therapy. James R. Henstock et al. in Stem Cells Translational Medicine, Vol. 3, No. 11, pages 1363–1374; November 2014.

НА ПРЕДЕЛЕ



Где заканчиваются
человеческие
возможности?

Я готов узнать,
оказавшись
«НА ПРЕДЕЛЕ».

Александр Колтовой

Ведущий программы
"На пределе"

реклама



цифровое
телевидение

Спрашивайте у операторов платного телевидения



www.naukatv.ru



www.facebook.com/nauka20

16+



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Как небольшая
группа
дальновидных
людей старается
накормить
Китай — и спасти
мировые моря
и океаны

Эрик Ванс

Рыба *для* народа

Сетчатые перегородки делят озеро Лянцзы на зоны, контролируемые двумя рыбоводческими компаниями. Увеличение производительности пресноводных рыбных ферм требуется для уменьшения перелова в море.

ОБ АВТОРЕ

Эрик Ванс (Erik Vance) — научный писатель, проживающий в Мехико. Любимые темы — океанология и наука о мозге. Мечтает о том дне, когда сможет есть морепродукты, не испытывая при этом чувства вины.



В январе 2007 г. вьетнамец Нгуен Фу (Nguyễn Phú) приготовил свое небольшое рыболовное судно для обычной ловли осьминогов у побережья Вьетнама. Вскоре, когда он выходил в море, на горизонте показалось несколько китайских военных катеров. У Фу мгновенно возникло желание вернуться, но он понял, что далеко не уйти. Когда эти катера вплотную подошли к его судну, ни он сам, ни его команда не оказали никакого сопротивления. «Мы не связываемся с китайцами, — пояснил Фу. — Мы просто принимаем вот такое положение, — он низко согнул спину, положив руки на затылок, — и молимся богу в надежде все перенести».

По его утверждению, китайские солдаты доставили всю команду в тюрьму на близлежащем острове, а судно конфисковали. Там, по словам Фу, их более месяца продержали в одной тесной камере и каждый день избивали. А затем выпустили: никакого суда или объяснения причин. Просто военные поймали и отпустили его — словно он был какой-то рыбой.

История Фу, рассказанная мне через переводчика в августе 2014 г., отражает документально подтвержденное вызывающее поведение Китая у тихоокеанского побережья Азии в последние годы. Рыболовы островов Фиджи, добывающие тунца, указывают на то, что китайские капитаны отказываются признавать нормы вылова рыбы в островных водах. Браконьерство китайцев в морских национальных парках Японии обострило и без того натянутые отношения между этими двумя странами. Филиппины наращивают сейчас военное присутствие возле нескольких разбросанных у своего побережья отмелей, где регулярно

появляются китайские рыболовные шхуны. Китай между тем настаивает, что Южно-Китайское море уже в течение сотен лет представляет собой часть его территории.

Не оспаривается лишь тот непреложный факт, что сегодня Китай остро нуждается в рыбе. С повышением уровня жизни в стране резко вырос спрос на рыбу и морепродукты. В Китае на душу населения съедается на 50% больше рыбы, чем в США. Страна с населением 1,4 млрд человек потребляет большее количество рыбы, чем следующие десять крупнейших стран вместе взятых.

Для удовлетворения растущего спроса в 2012 г. Китай, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), добыл в море и вырастил на своих рыбных фермах 57 млн т рыбы — 1/3 мирового объема. Сегодня Китай располагает 700 тыс. рыболовных судов, которые курсируют в морях и океанах по всему миру. Его суда буксируют огромные плавучие садки над морским дном и тянут под водой рыболовные сети

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Китай добывает и выращивает 1/3 мирового объема рыбы и морепродуктов, потребляя больше рыбы, чем следующие десять крупнейших стран вместе взятых. От обновления им своих пресноводных и морских рыбных ферм зависит, сохранятся или будут подорваны мировые рыбные угодья.
- Группа исследователей и бизнесменов преобразует традиционную систему аквакультуры, чтобы позволить многим биологическим видам перерабатывать естественные выделения друг друга. В результате морские фермы будут меньше загрязнять окружающую среду и станут более экологически устойчивыми. То же самое пытаются сделать с тысячами больших и малых пресноводных ферм, на которых в Китае выращивается 70% потребляемой рыбы.
- Пока получаемые по этой технологии морепродукты довольно дороги — активное приобретение их китайскими потребителями начнется лишь после снижения цен на них.



Морская ферма компании Zhangzidao Group

использует морские течения для перемещения питательных веществ между различными биологическими видами. Работники фермы сортируют молодь гребешков перед тем, как выпустить ее на дно (внизу); погружаются (слева), проверяя, как растут трепанги (вверху слева); а также изготавливают из переработанных раковин гребешков (вверху) большие бетонные блоки, используемые для корректировки морских течений.



размером с футбольные поля. Аналогичные рыболовные средства используют и другие страны, но именно Китай, который опережает в этом отношении даже Японию и США, несет наибольшую ответственность за опустошение мировых рыбных угодий.

Как результат во всем мире наблюдается устойчивое сокращение численности многих морских животных, таких как, например, трепанги (голотурии), акулы, морские ушки (галиотисы), используемых для приготовления различных популярных блюд. Если не считать символических жестов вроде запрета подавать суп из акулиных плавников на официальных приемах, правительство Китая до сих пор не проявляло особого желания признать эту проблему.

Однако некоторые китайские ученые и бизнесмены, обеспокоенные тем, что современные методы

рыболовства истощают животный мир океанов Земли быстрее, чем происходит его восполнение, начинают энергично заниматься этим вопросом. Небольшая группа дальновидных людей пытается изменить подобную тенденцию путем обновления традиционной аквакультуры Китая, а именно перехода от тысяч небольших прудовых рыбохозяйств на берегу, по-прежнему использующих допотопные методы ведения производства, к огромным промышленным морским рыбным фермам.

Их идея состоит в том, чтобы преобразовать старые, затратные и загрязняющие среду методы ведения рыбного хозяйства в уникальную китайскую форму производства экологических морских продуктов, способствуя при этом процветанию крупных и мелких рыбных фермеров. Они надеются угодить вкусам китайских потребителей чистой

и здоровой рыбы, представив им свою аквакультуру как альтернативу традиционной практике. Если этим исследователям и бизнес-лидерам удастся найти экологически устойчивые способы удовлетворить спрос на такие традиционные китайские деликатесы, как пресноводный карп, они сыграют огромную роль в спасении мировых рыбных угодий от уничтожения.

Работа морской фермы

Рыбная ферма острова Чжанцзыдао недалеко от полуострова Корея расположена в прохладных водах. Говорят, что именно в такой воде, как здесь, вырастают лучшие в мире морепродукты. Небольшая бухта, где я собираюсь спуститься под воду, известна тем, что в 1972 г. местные моллюски морские ушки были выбраны для банкета во время исторического визита сюда президента США Ричарда Никсона, после которого установились торговые отношения с Китаем.

Воздух сегодня теплый, поэтому мне нестерпимо жарко в те несколько минут, что приходится ожидать в натянутом на меня мокром гидрокостюме из неопрена толщиной 7 мм. Наконец мы вместе с двумя сопровождающими и фотографом плюхаемся в воду — точь-в-точь четыре неопреновые картофелины. Меня сопровождают работники компании *Zhangzidao Group* — некогда традиционного рыбоводческого хозяйства, которое занимается сегодня экспериментальной проверкой новой идеи. Они ведут себя довольно дружелюбно, но проявляют при этом некоторую настороженность: ведь мы первые иностранные журналисты, приехавшие осмотреть это место.

При погружении в темную воду мы наблюдаем то, что кажется нам привычной береговой экосистемой: обычные и бурые водоросли (ламинарии), широкие песчаные участки дна. Но затем я замечаю, что все дно усеяно трепангами, двустворчатыми моллюсками и морскими ежами, — т.е. они не прятались по углам и закоулкам, как следовало бы ожидать, а спокойно перемещались по открытому пространству. Мои сопровождающие тотчас же начинают вручную собирать всех этих морских обитателей, словно играя в охоту на пасхальные яйца.

На этой рыбной ферме, если ее можно так называть, используется новый подход, который заключается в имитировании крупномасштабных природных систем. Позади нас, как и во всех остальных небольших бухтах, протянулись бесконечные ряды садков с молодью гребешков — ее предстоит выпустить на дно бухты, где она будет расти, пока



Работники фермы на озере Луху кормят китайского окуня, которого выращивают здесь после того, как отказались от карпа, сильно загрязнявшего воду озера

не превратится в достаточно крупных двустворчатых моллюсков, которых начнут собирать пловушцы рядом со мной работники компании. Кроме этого здесь нет больше никаких садков или ограждений. Нет также ни удобрений, ни искусственных кормов, ни антибиотиков.

«Мы используем модель под названием *IMTA*, — объясняет Лян Цзюнь (Liang Jun), руководитель исследовательских работ компании, — по которой естественные выделения одного вида могут служить питательными веществами для другого».

Интегрированная многовидовая аквакультура, сокращенно *IMTA* (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture*), — это общая концепция, которая в различных формах появилась в таких странах, как Канада, Великобритания (в Шотландии), США и Норвегия. Ее идея состоит в том, что переработка множеством биологических видов естественных выделений друг друга («питательных веществ») уменьшает загрязнение воды. При практическом осуществлении концепции *IMTA* чаще всего располагают по соседству ряды садков таким образом, чтобы обитатели одного могли поедать питательные вещества, образующиеся в другом. Например, в Канаде, в заливе Фанди, реализуется наиболее известный сегодня проект *IMTA*, где течение переносит питательные вещества из расположенных в ряд садков лосося к двустворчатым моллюскам и ламинариям.

Впрочем, в компании *Zhangzidao Group* используется совсем другая методика. Фактически в роли подобных садков выступают сам остров Чжанцзыдао и несколько других местных островов.

Команда Лян Цзюня начала с того, что внимательно изучила перемещение течениями питательных веществ вдоль берегов островов и сложила кое-где искусственные рифы, чтобы подправить эти течения. После этого по участкам дна возле этих островов, где имелось достаточное количество питания, была расселена специально полученная молодь гребешков, которую предстояло здесь выращивать, аккуратно удаляя хищников.

Эти воды, естественно, насыщаются несколькими специально отобранными видами. Компания отслеживает такие ключевые показатели, как температура воды, однако в целом моллюски бывают обычно предоставлены сами себе, пока для их сбора сюда не спускаются дайверы. При выращивании гребешков не бывает прилова (попутной добычи нежелательных видов морских животных), как при сплошной добыче, и не происходит сильного загрязнения воды. Пустые раковины гребешков компания перерабатывает, используя их при изготовлении бетонных блоков для будущих искусственных рифов.

Что действительно поражает в мероприятии, так это его размах. «Когда они решают заняться аквакультурой в бухте, они делают это в широких масштабах — то, что было бы невозможным в западном мире», — говорит Тьерри Шопен (Thierry Chopin), биолог из канадского Университета провинции Нью-Брансуик, который занимается проектом в заливе Фанди.

Проект в заливе осуществляется на площади в несколько гектаров и включает девять «плотов с мидиями», которые, помимо всего прочего, обеспечивают очистку вод залива. В противоположность этому территория рыбоводческой компании *Zhangzidao Group* на острове Чжанцзыдао и других островах в четыре раза превышает площадь города Чикаго. В заливе Фанди каждый год выращивается примерно 200 т водоросли ламинарии и 300–400 т двухстворчатых моллюсков мидий. В свою очередь, на Чжанцзыдао и прилегающих островах производится 60 тыс. т ламинарии, которая обычно считается здесь побочным продуктом и продается местным жителям. Серьезные деньги приносят ежегодно получаемые здесь 200 т морских ежей, 300 т устриц, 700 т морских слизней, 2 тыс. т морских ушек, а также целых 50 тыс. т гребешков. Производственный процесс идет настолько успешно, что недавно компания *Zhangzidao Group* даже организовала здесь бизнес рыболовного туризма в надежде, что удастся выловить побольше рыб, которые заплывают в эти бухты полакомиться благоденствующими тут беспозвоночными.

По словам Цзюня, этот конкретный вид аквакультуры может благополучно развиваться лишь при условии очень больших масштабов. «Для экономической эффективности необходимо иметь

систему площадью по меньшей мере в 100 км², — говорит он, подразумевая небольшой по размерам город. — А для поддержания работы примерно такого вот хозяйства требуется масса исследований по морской гидродинамике».

Он разворачивает экран монитора, показывая мне подробную карту всех островов, на которой четко обозначено, где наблюдается концентрация питательных веществ и где зафиксирован максимальный сбор продукции. В основе большей части этих факторов лежат морские течения, которые Цзюнь может точно корректировать, опуская на дно в определенных местах бетонные блоки размером с холодильник для образования искусственных рифов. Всего он уже уложил на морское дно 20 тыс. таких блоков.

Как утверждают некоторые западные специалисты, компания *Zhangzidao Group* не в полной мере использует технологию *IMTA*, поскольку она не выращивает и не поставляет пелагическую рыбу (*m.e. те виды, что обитают в толще воды, в верхних слоях открытого океана.* — *Примеч. пер.*), чьими естественными выделениями должны теоретически питаться беспозвоночные. Поэтому они предпочитают использовать не совсем научный термин, называя ее «океанской (морской) фермой». В любом случае хозяйство *Zhangzidao Group* изумляет своими размерами и продуктивностью. При этом его никоим образом нельзя считать идеальным. По признанию представителя этой компании, более половины площади ее дна лежит на чересчур большой глубине для сбора продукции вручную, поэтому с этой целью ей по-прежнему приходится использовать тралы — тяжелые жесткие сети пятиметровой ширины, которые буксируются по поверхности морского дна и обычно наносят ему серьезные повреждения. К тому же компания *Zhangzidao Group* производит очень дорогую продукцию. Ее трепанги — маленькие и бугристые слизнеобразные родственники морских звезд — продаются в Китае по цене \$250 за штуку. По-видимому, как и в США и Европе, экологичные китайские морепродукты предназначены в первую очередь для состоятельных людей.

Удовлетворение запроса потребителей

Тем не менее беспрецедентный размах самого проекта говорит о потенциальной возможности удовлетворить массовый спрос в Китае на морские продукты. Вся хитрость в том, чтобы обеспечить экологичными морепродуктами потребителей со всеми уровнями дохода. «Торговля экологичными продуктами питания — вообще большая проблема в Китае, по крайней мере сегодня, — говорит Юймин Фэн (Yuming Feng), президент компании *Zhangzidao Group*, подразумевая, что окончательное решение останется за потребителями. — Ведь они зададут вопрос: "А что это даст лично мне?"».



Бригада из мужа и жены распространяет удобрение в пруду возле города Ухань. Исследователи стараются помочь тысячам семей найти более экологически устойчивый способ эксплуатации прудов, что важно для удовлетворения постоянно растущего спроса в Китае на рыбу.

Современных китайских потребителей мало беспокоит окружающая среда, они не стремятся тратить больше денег ради ее спасения, их больше заботит другое. «В сущности, китайское правительство и китайские потребители ищут надежные пищевые продукты, которые будут безвредными для них», — считает Ань Янь (An Yan) из Тихоокеанского отделения международной организации «Морской попечительский совет».

Случаи отравления людей свинцом и добавления в молоко меламина заставили китайских потребителей выяснять, откуда поступают их продукты питания. Янь уверен в том, что изменения в производственном процессе для повышения уровня безвредности пищевых продуктов способствуют охране природы и бережному природопользованию. Когда компания *Zhangzidao Group* начала свой эксперимент, она экспортировала основную часть гребешков экологически мотивированным покупателям США, Австралии и Европы. Сегодня все ее морепродукты остаются в Китае и продаются прежде всего как чистые и полезные, а не как благоприятные для окружающей среды.

Этот вывод подтверждается на рынке в расположенном неподалеку городе Далянь, где вполне очевиден большой спрос на морепродукты. Я иду вдоль торговых рядов с разложенными на них трепангами, крабами, гребешками и разными раковинами, а в моих ушах звенят громкие призывы торговцев на китайском: «Чего желаете?» Недавно выловленные двусторчатые моллюски обрызгивают меня струйками воды. Под кричаще яркими полотнищами с нарисованными на них карикатурно улыбающимися рыбами пожилые женщины черпают ковшом креветок.

Почти в каждой палатке на этом рыбном рынке утверждают, что их морские продукты привезены

из хозяйства Чжанцзыдао, что сомнительно, поскольку компания *Zhangzidao Group* поставляет свою продукцию главным образом, крупным ритейлерам и роскошным ресторанам. Тем не менее это свидетельствует о престижности здесь торговой марки Чжанцзыдао. «Ведь там у них искусственные рифы, а это очень полезно для рыбы», — пояснил Мэн Ни Оу Ян (Meng Ni Ou Yang), владелец палатки, продающий морские продукты «с острова» на 20% дороже. Еще один продавец, 35-летний Хун Чжэ Лян (Hong Zhe Liang), попросту сказал: «Там чище вода».

Никто из торговцев рыбой не выразил озабоченности экологическими проблемами, а на вопрос на эту тему следовал ответ, что охрана дикой природы не так уж важна для их покупателей. Как бы там ни было, экспериментирование с технологией *IMTA* ведется и в других регионах Китая. Вдоль морского побережья у города Далянь, и далее на юг, в бухте Саньгу, огромные площади занимают хозяйства по выращиванию водоросли ламинарии, где в столь же возрастающих масштабах используются элементы этой технологии, хотя и с явно меньшим многообразием видов. Чтобы удовлетворить потребителей Китая, специалистам по марикультуре (морской аквакультуре) потребуются дальнейшее, еще более значительное расширение такого рода моделей.

Очищение прудов и озер

Хотя сотни тысяч морских промысловых судов Китая обеспечивают его доминирование на глобальном рынке, все эти морские продукты отнюдь не на первом месте у потребителей этой страны. Ведь более 70% съеданной в Китае рыбы добывается в местных реках и озерах. Не случайно недавние страхи по поводу загрязнения пресной воды

вызвали у некоторых посетителей ресторанов беспокойство за традиционную рыбу. Таким образом, любая попытка ограничить рыбопромышленное воздействие Китая на моря и океаны потребует возрождения доверия к пресноводным рыбным фермам. Именно это сейчас старается сделать сообщество ученых на всем протяжении реки, составляющей наиболее значительный рыбоводческий регион Китая.

Важность аквакультуры повсюду в окрестностях реки Хуанхэ становится очевидной, едва выйдешь на берег в городе Ухань, в 500 км вверх по течению от Шанхая. Здесь находится центр самого крупного рыбоводческого региона самой большой в мире рыбоводческой страны. Вокруг аэропорта, под эстакадами автомагистралей и вдоль всех дорог, куда только достаёт взгляд, каждый квадратный сантиметр свободной площади выкапывается, заполняется водой и начинает служить водоемом для выращивания рыбы.

«Посмотрите налево, — говорит мне Шоуци Се (Shouqi Xie), исследователь из Китайской академии наук, когда мы едем с ним вдоль, кажется, бескончаемых рядов прудов. — Вот почему мы называем провинцию Хубэй землей тысячи озер».

Примерно 18,4 тыс. км² площади Китая — т.е. приблизительно площадь всего американского штата Нью-Джерси — заняты рыбными прудами. Возможно, американцам это трудно будет представить, но, по данным китайских специалистов, 20% мирового потребления животного белка обеспечиваются за счет пресноводной рыбы, и половина этого количества поступает отсюда, из центрального Китая вдоль реки Янцзы.

Однако в последнее время многочисленные газетные сообщения о растущем загрязнении воды и пищевых отравлениях уменьшили доверие потребителей к такой традиционной продукции прудов, как карпы и сомы. «Но это же абсурдно, — замечает Се. — Мы следим за прудовой рыбой на протяжении всей ее жизни. Что касается дикой рыбы, никто, конечно, не контролирует, где она плавает и какие ей встречаются загрязнители».

Даже при этих условиях традиционные пресноводные рыбные фермы не слишком экологически устойчивы. У истоков китайской аквакультуры стоял живший в V в. Фань Ли (Fan Li) — философ, тактик и советник Гоуцзяня (Goujian), могущественного правителя царства Юэ. По завершении успешной военной карьеры Фань Ли поселился в расположенном на берегу озера городе Уси, где написал первое в мире наставление по аквакультуре. В этой книге объемом

в 400 иероглифов приводятся такие сведения, как начальное число карпов в пруду, оптимальный период роста у рыб, а также рекомендация выращивать здесь же водяных черепах, чтобы отпугивать «дракона наводнений».

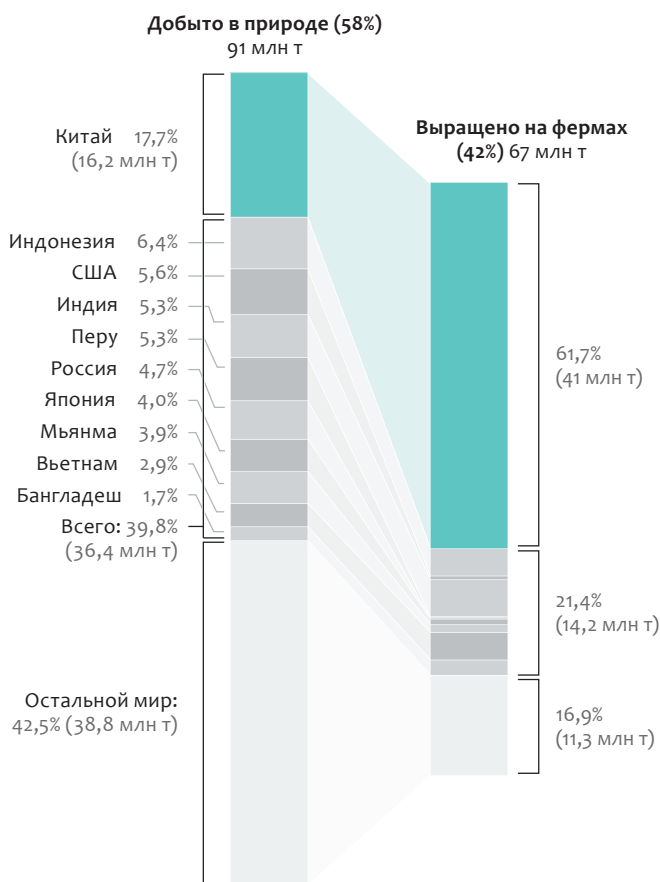
Эти древние инструкции столетиями соблюдались, и рядом с наземными фермами существовали маленькие рыбные пруды, где сохранялась чистая вода и откуда поступала здоровая рыба. Однако в 1980-е гг. в китайском рыбоводстве возникла тенденция создавать большие по площади промышленные водоемы. Это изменение, а также

Список лидеров

РЫБНЫЙ МАГНАТ

Китай — бесспорный мировой лидер по добыче и выращиванию рыбы, ракообразных и моллюсков в морях, океанах, реках и озерах. В 2012 г. (последние данные) на долю Китая пришлось 17,7% добычи морепродуктов в природе (левая колонка внизу), т.е. почти в три раза больше, чем у следующей по списку страны. Что еще более поражает, Китай вырастил на своих морских и пресноводных фермах 61,7% всей рыбы (правая колонка). Если опустошаемым сегодня мировым рыбным угодьям суждено сохраниться, все страны, включая Китай в качестве лидера, должны будут увеличить производство рыбы на фермах.

Добыча и выращивание рыбы и морепродуктов в морской и пресной воде (2012 г.)



мощное развитие других отраслей промышленности привели к сильному загрязнению окружающей среды. В 2007 г. ухудшение достигло высшей точки, когда в знаменитом озере Тайху, возле которого жил Фань Ли, началось губительное цветение воды, вызванное массовым развитием водорослей. «Поскольку большая часть водопроводной воды в городе Уси поступает из озера Тайху, жители не могли использовать ее для питья: из крана текла черная вода, — вспоминает Се. — А если вы решались принять душ, от воды исходил отвратительный запах».

Такого рода бедствие, случившееся в Китае в 2007 г., прозвучало как сигнал тревоги. Люди не могли больше доверять качеству воды, которую они пили, и качеству рыбы, которую ели. Хотя непосредственной причиной не была деятельность рыбных ферм, данное явление побудило работников рыбохозяйств Китая добиваться высокой продуктивности труда, не нарушая при этом экосистему. Такие люди, как Се, работают над тем, чтобы поддерживать чистоту воды и одновременно увеличивать объемы производства рыбы.

Состояние балансирования

Все пресноводные экосистемы находятся в состоянии постоянного балансирования между избытком и недостатком питательных веществ. В Великих озерах присутствуют, например, некоторые виды-колонисты, которые забирают из воды все питательные вещества, делая ее прозрачной и насыщенной кислородом, но лишенной жизни. В реке Янцзы, наоборот, чересчур много таких питательных веществ, как азот и фосфор, и слишком мало кислорода. В результате вода приобретает грязно-зеленый цвет, и в ней могут жить лишь организмы, прекрасно чувствующие себя в бедной кислородом водной среде, т.е. водоросли.

На протяжении столетий между питательными веществами, поступающими в пруды многих рыбных ферм и исходившими из них, поддерживалось естественное равновесие. Однако в последние годы этот баланс нарушился. Отчасти причиной стало загрязнение окружающей среды, отчасти в этом виновата сама аквакультура. Самый любимый вид рыбы в Китае — карп, представитель быстрорастущего семейства, которое прекрасно питается чем угодно, от водорослей до нечистот. Богатые азотом выделения карпа оседают на дно. Это питательное вещество вместе с удобрениями потребляют водоросли — разрастаясь, они перекрывают свет для растений, не давая им вырабатывать кислород. И этот цикл повторяется, пока в таком пруду или озере уже мало кто может обитать, кроме самого карпа и водорослей. В одном из озер провинции Хубэй за десятилетие количество таких водорослей увеличилось в 20 раз, а прозрачность воды уменьшилась вдвое.

Я размышляю об этом, ступая на небольшой катер у берега озера Лянцзы. На озере стоит полная тишина, и нельзя понять, нависает сверху над ним низкое облако или смог. Вода окрашена в зеленоватый цвет и абсолютно неподвижна, словно жидкий гороховый суп в гигантской тарелке.

Еще десять лет назад, вдоль берега располагались десятки сетчатых садков, полные карпа, а отходы жизнедеятельности этих рыб убивали всю живность в воде. В связи с этим местные власти обратились в Уханьский университет с просьбой помочь перестроить рыбоводство в этом озере, втором по величине в провинции. Жиашоу Лю (Jiashou Liu), коллега Се в Китайской академии наук, понял, что активное цветение воды в озере вызвано большой концентрацией отходов.

Сегодня все эти сетчатые садки по берегу убраны. Теперь фермеры-рыбоводы организуют здесь свою работу так, словно все озеро — один своего рода «садок», где всеми рыбами управляет природа. Нет и большей части карпов. Сейчас фермеры и исследователи сконцентрировались на разведении здесь более ценных обитателей, таких как крабы и китайские окуни, которые не только меньше загрязняют озеро, но и уменьшают численность оставшейся в нем рыбы. И еще они засадили растениями береговую линию, что поможет вновь насытить кислородом воду.

Каждый год фермеры загоняют всю рыбу в один угол озера и разом вытаскивают ее на берег. Как и в Даляне, здесь нет необходимости использовать удобрения или дорогостоящий корм, увеличивая биогенную нагрузку. Благодаря увеличенному пространству для перемещения рыба меньше болеет. Удивительно, но уменьшение объема ее добычи не сказывается на финансовых результатах.

«Доход здесь выше, чем можно было бы получать на прудах, — говорит Фу Жунь Дэн (Fu Jun Deng), руководитель одной из двух компаний, занимающихся разведением рыбы в этом озере. — Это очень простая работа. Обычно нам нужно лишь патрулировать здесь, чтобы убедиться, что никто не покусится на наш улов».

Впрочем, меньшее количество добываемой рыбы не удовлетворит растущий спрос. К тому же озеро еще не вернулось к первоначальному состоянию: вода в нем мутноватая, и до сих пор присутствует множество водорослей. Однако качество самой воды улучшилось, поскольку увеличилась ее насыщенность кислородом, сократилось количество азота, вдоль берегов разрослись водные растения и налицо постепенное улучшение обзорности.

В этом же районе осуществляются аналогичные проекты по оздоровлению других, более крупных природных озер, однако этот процесс тормозится наличием многих тысяч мелких прудов (каждый размером, наверное, с футбольное поле), покрывающих всю окружающую местность. Такие

семейные пруды по-настоящему кормят страну, обеспечивая производство большого количества пищи на 1 га площади. Сохранять в подобных мелких прудах чистоту воды и поддерживать в здоровом состоянии рыбу — непростая задача. Таким образом, в дополнение к более крупным проектам исследователи разрабатывают низкотехнологичные способы получения более здорового и экологически устойчивого продукта.

Профессор Хуачжунского сельскохозяйственно-го университета Цунсинь Се (Congxin Xie), не родственник Шоуци Се, экспериментирует с так называемыми плавучими островами, предназначенными для очистки воды. Однажды ранним утром он везет меня к опытному пруду возле небольшого города Гуньянь. По поверхности пруда плавают с полдюжину белых пластиковых конструкций с пышной зеленью водного шпината (ипомея водяная). Эти конструкции немного напоминают мне

ко дну и могут свободно плавать по пруду. Они стоят примерно по \$150, но вполне могут окупиться за год, если фермеру удастся продать выращенный шпинат как органический сельскохозяйственный продукт. В ближайшем ресторане повар обрабатывает для нас этот шпинат паром, посыпает солью, добавляет орехов и подает нам вместе с несколькими видами пресноводной рыбы. Я все еще не могу привыкнуть к вкусу карпа (вернее, к множеству мелких косточек в нем), однако шпинат великолепен и съедается одним махом.

Как указывает Се, данный набор продуктов имеет ключевое значение. Реформы должны приносить пользу и окружающей среде, и фермерам, а исследователям следует работать в тесном контакте с местными жителями. Подобные плавучие острова со шпинатом удовлетворяют всем этим требованиям, и местные фермеры говорят, что планируют сделать так, чтобы эти острова за-

нимали по меньшей мере 5% площади водной поверхности прудов. Сейчас работники на их берегах занимаются изготовлением новых таких конструкций.

Водные растения и животные стали основой усилий Китая по очистке своих рек, озер и прудов. После бурного развития водорослей, случившегося в 2007 г. в окрестностях города Уси, исследователи активизировали попытки применить в области рыбоводства технологии

увлажненных территорий. Китайская академия наук начала финансирование множества проектов вдоль реки Янцзы по борьбе с загрязнением воды путем использования пресноводных улиток, лотоса, десятков других растений и животных.

Так, на озере Гэху — чуть выше по течению Янцзы, чем озеро Тайху, — больше нет никаких садков для рыбы. Сейчас 2,6 км² его поверхности покрывает водное растение эйхорния (водяной гиацинт), которую разводят здесь для очистки воды. Расположенная неподалеку аквакультурная ферма *Wu Jing Aquaculture Farm* представляет собой огромный комплекс промысловых прудов, где 30% площади отданы аналогичному виду борьбы с загрязнениями водоемов.

Еще одна кооперативная ферма в провинции Хубэй выращивала сильно загрязнявшую воду карпа в нескольких прудах, прилегавших к озеру Луху. Если бы все складывалось удачно, фермеры и дальше могли бы ежегодно вылавливать целых 12 т рыбы, получая доход в тысячи долларов США с гектара. Но такое везение редко бывает долгим. При столь высокой заселенности загрязнение

Американцы и европейцы благоосклонны к таким холодноводным видам рыб, как форель и лосось, которым требуется сильно насыщенная кислородом вода, тогда как в Китае отдают предпочтение карпу и сому, живущим в воде с низким содержанием кислорода

гигантские ящики для растений, которые обычно вывешиваются за окно. Се годами изучал взаимодействие водных растений с окружающей средой и в конце концов остановил свой выбор на данном ботаническом виде, поскольку он быстро растет и образует мощную корневую систему, потребляющую большое количество питательных веществ. По словам Се, нескольких таких плавучих островов с водяным шпинатом хватило, чтобы за последние три месяца количество аммиака в воде пруда сократилось примерно на 1/3. Как известно, чересчур высокие концентрации аммиака летальны для рыб.

«Качество воды улучшилось. Она стала прозрачней, — говорит Юн Чан Сюй (Yung Chang Xu), один из работников рыбной фермы, отвечающей за местные пруды. — Теперь здесь нет такого количества мертвой рыбы, как в прошлом году».

Его сын везет нас на деревянной лодке к этим плавучим островам, и Се вырывает оттуда несколько пучков шпината. Эти пластиковые конструкции — размером с две или три ванны, соединенные встык по всей длине, — никак не крепятся

воды и заболеваемость карпов в прудах стремительно нарастали. В 2008 г. с помощью Китайской академии наук ферма обеспечила дополнительное поступление воды из прилегающего основного озера на увлажненную территорию. Кроме того, в прудах была произведена замена карпа на китайского окуня, благодаря чему в десять раз уменьшилась концентрация рыбы, а сам окунь оказался более благоприятным для окружающей среды и поставляется по более высокой цене.

«Мы каждый год экспериментируем. Сначала выпускаем сюда 50 или 100 пресноводных рыб одного вида, а потом штук 100 какого-нибудь другого, — сообщает Хуэй Шан Ся (Hui Shang Xia), 50-летний фермер, который работает здесь уже не одно десятилетие. — Я никогда не терял деньги, просто иногда зарабатывал меньше».

Другие решения этой проблемы предполагают творческий подход. Так, например, исследователи из расположенного в Шанхае Научно-исследовательского института рыбопромыслового оборудования и приборов Китайской академии рыбохозяйственных наук создали устройство, которое решает постоянную для небольших прудов проблему. Здесь все дело в плохом фотосинтезе у водных растений, которые могли бы отфильтровывать питательные вещества. Когда светит солнце, фотосинтез ограничивается отсутствием в воде фосфора — при этом достаточное его количество содержится в осадке на дне водоема. Такие пояснения дает Хао Сюй (Hao Xu), директор этого института, указывая на целый комплекс опытных прудов зеленого цвета. Конструкторы его института разработали устройство, питаемое от солнечных батарей, которое взбалтывает ил по всему дну пруда. Когда ярко светит солнце, оно поднимает в толщу воды фосфор для растений. А когда солнце закрывают облака, устройство автоматически отключается.

Добиться успеха

Недавний взрывной рост благосостояния в Китае настолько повысил спрос на мясной белок, что это может оказаться беспрецедентным в мировой истории. Столь же масштабными должны быть мероприятия по сохранению пресноводной и морской среды. Китайская академия наук занимается прудами общей площадью примерно 30 тыс. га в бассейне реки Янцзы, вверх и вниз по ее течению. Морская ферма компании *Zhangzidao Group* — крупнейшая такого рода в мире (вместе с расположенной неподалеку фермой по выращиванию ламинарии), они опережают по своим масштабам любой другой из реализуемых на планете проектов по концепции *IMTA*.

В этой работе многие идеи заимствованы у США и Западной Европы, однако было бы неразумно ожидать, что китайская аквакультура будет

внешне напоминать аналогичные западные варианты. Американцы и европейцы благосклонны к таким холодноводным видам рыб, как форель и лосось, которым требуется сильно насыщенная кислородом вода, тогда как в Китае отдают предпочтение карпу и сому, живущим в воде с низким содержанием кислорода. Так же серьезно отличаются китайские представления о здоровье экосистемы. «То, что мы посчитали бы загрязненным озером, мышление китайцев рассматривает как условия для эффективного производства продуктов питания, — говорит Тронд Сторebakкен (Trond Storebakken), специалист по рыболовству из расположенного рядом с Осло Норвежского университета наук о жизни. — Но слишком загрязненное озеро означает бедствие. Ухитриться поддерживать в нем хороший баланс — вот, что изумляет меня».

Сторebakкен консультировался по различным вопросам с Китайской академией рыбохозяйственных наук. Он много ездил по Китаю и был поражен, насколько безупречно воспроизводятся местными исследователями природные системы, в которых отведенные им роли играют хищники, травоядные и фильтраторы (организмы, улавливающие добычу при пропускании воды через специальный аппарат). Он верит в то, что Китай после тысячелетий выработки и формирования своего отношения к морепродуктам вступает в новый период. «Это коренным образом отличается от того, что мы делаем у себя, — указывает Сторebakкен. — Они начинают справляться со своими проблемами. Отнюдь не идеальным образом, но лучше, чем где бы то ни было».

Перевод: А.Н. Божко

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Симпсон С. Революция в морях и океанах // ВМН, № 4, 2011.
- Sustainable Seafood and Integrated Fish Farming in China. Online video. World Wide Fund for Nature International. September 2, 2012. www.youtube.com/watch?v=18xyR8KWrgE#t=220
- Rich Countries Pay Zombie Fishing Boats \$5 Billion a Year to Plunder the Seas. Gwynn Guilford in Quartz. Published online June 25, 2014. <http://qz.com/225432/rich-countries-pay-zombie-fishing-boats-5-billion-a-year-to-plunder-the-seas>
- Freshwater Aquaculture in PR China: Trends and Prospects. Qidong Wang et al. in Reviews in Aquaculture. Published online October 25, 2014.
- Draft Intertek Fisheries Certification report on Zhangzidao scallop fishery: www.msc.org/track-a-fishery/fisheries-in-the-program/in-assessment/pacific/zhangzidao-scallop/assessment-downloads-%0141103_PCDR_SCA326.pdf



ИЮНЬ 1965

Ядро Земли. Наши эксперименты со сплавом 90% железа и 10% никеля и результаты их экстраполяции дают основания считать, что при ожидаемых значениях давлений и температур в ядре плотность этого сплава примерно на 10% меньше плотности чистого железа.

Эта оценка согласуется с оценкой плотности ядра Земли, сделанной К. Булленом (К.Е. Bullen) из Сиднейского университета и Фрэнсисом Берчем (Francis Birch) из Гарвардского университета на основе сейсмических данных, значения момента инерции и массы Земли. Соответственно, ядро Земли состоит, вероятно, из железоникелевых сплавов и подобно по составу железоникелевым метеоритам.



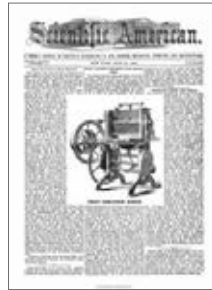
ИЮНЬ 1915

Величайшее изобретение. Самым значительным событием в истории достижений человечества было изобретение паровой машины. Ее появление разделило эту историю на две четко различающиеся эпохи, и можно смело утверждать, что всю хронологию материальных

достижений человека следует отсчитывать вперед и назад от этого сравнительно недавнего события. Переход от свойственного прошлой эпохе ручного производства к машинному, которое характеризует новую эпоху, ни в коей мере не был разрушительным и очень сильно повлиял на человечество — неизмеримо больше, чем любые политические изменения или военные решения, указываемые обычно историками для обозначения начала новой эпохи.

Наш 70-летний юбилей. Если вспомнить, что в то время, когда началось издание журнала *Scientific American*, известие из Нью-Йорка в Лондон шло три недели, а в Калькутту — три месяца, что еще вчера использование хлороформа для обезболивания при хирургических операциях нас удивляло, если задуматься о грандиозности Панамского канала, о возможности заглянуть с помощью рентгеновских лучей внутрь тела живого человека, о том, что люди сегодня могут летать быстрее любой птицы, станет очевидно, что нам посчастливилось не только быть свидетелями всех этих чудес, но и написать о них в печатных изданиях. Страшно подумать о том, что ждет нас впереди.

Примечание: больше узнать об этом специальном номере журнала за 1915 г. об истории изобретений можно по адресу: www.ScientificAmerican.com/jun2015/inventions-1915.



ИЮНЬ 1865

Состав земного ядра. Ядро Земли в очень большой степени, если не целиком, состоит из золота, платины и других благородных металлов. Если допустить, что Земля некогда находилась в газообразном или жидком состоянии, не ясно ли, что тогда первыми к ее центру должны были опуститься наиболее тугоплавкие и тяжелые вещества? Сегодня золото, платина и немногие другие благородные металлы обладают этими свойствами в гораздо большей степени, чем все другие известные вещества. И хотя в земной коре они очень редки, это не исключает того, что в природе в целом они изобилуют». — Джон Кэлвин Мосс (John Calvin Moss).

Паровая пахота. Применение паровых машин для возделывания земель наталкивается на трудности. Непосредственно впрячь паровую машину в плуг, как лошадь, нельзя: из-за большого веса она будет, во-первых, тратить слишком много энергии на перемещение самой себя по неровностям почвы, во-вторых, уплотнять своим весом вспахиваемую почву. Это значит, что придется тянуть плуг тросом от неподвижной машины.

Компонент лака. В Африке вблизи Занзибара найдена самая лучшая и самая чистая в мире камедь. Это, несомненно, окаменевшая камедь. На Занзибар она попадает грязной, и для приведения в товарный вид требует тщательного просеивания и отбора. Затем она очищается раствором кальцинированной соды и известью и тщательно упаковывается в ящики для доставки на внутренний рынок. О том, что это камедь, свидетельствует ее неровная поверхность в виде «гусиной кожи» — несомненный отпечаток песка и земли, возникший, когда она еще жидкой стекала с дерева. Попадают куски с идеально сохранившимися в них палочками, листьями и насекомыми.



Успехи цивилизации за 70 лет изобретательства, 1915 г.



психология

Владеть собой — ВЛАДЕТЬ ВСЕМ МИРОМ

Самоконтроль — не только пуританская добродетель, это важное психологическое свойство, которое обеспечивает успешность и в работе, и в досуге, а также помогает преодолевать жизненные трудности

Рой Баумейстер

Способность контролировать свои порывы и желания необходима для успешной жизни и совместной деятельности. Люди, которым хорошо удается контролировать свои мысли, эмоции и поведение, преуспевают в школе и на работе, кроме того, они здоровее, богаче и более популярны. Они лучше формируют близкие отношения (и их партнеры это подтверждают) и вызывают больше доверия. Более того, у них меньше шансов быть не в ладу с законом, оказаться в зависимости от наркотиков или получить незапланированную беременность. Даже продолжительность жизни у таких людей выше. В одной из своих книг бразильский писатель Пауло Коэльо так писал про эти преимущества: «Тот, кто одержал победу над собой, завоюет весь мир».

ОБ АВТОРЕ

Рой Баумейстер (Roy F. Baumeister) — профессор психологического факультета Университета штата Флорида, специалист по социальной психологии. Его научные интересы простираются от темы социального отвержения до проблемы сексуальности и агрессии.



Самоконтроль позволяет человеку изменять себя, и это, безусловно, основной способ, с помощью которого мы адаптируемся к окружающим условиям. Наше желание контролировать себя и происходящее вокруг прочно коренится в психике и лежит в основе занятий наукой, искусством, политикой и бизнесом. Поскольку большинство из нас не обладают королевской властью, позволяющей повелевать подчиненным, то для нормальной жизни нам необходимы поддержка других людей и способность подавлять агрессию, жадность и сексуальные желания.

Сейчас социальные психологи пересмотрели свои позиции и оценили важность способности к самоконтролю. Еще 30 лет назад ошибочно считалось, что повышение самооценки служит панацеей от всех личных и социальных проблем. Успешность в жизни и высокая самооценка идут рука об руку, поэтому логично было предположить, что манипуляции со второй улучшат качество первой.

Однако при более внимательном рассмотрении имеющихся данных выяснилось, что сама по себе более высокая самооценка не способствует успешности. Перепутались причина и следствие. Когда ученые наблюдали за учениками длительное время, выяснилось, что получение хороших оценок приводит к повышению самооценки. Но более высокая самооценка сама по себе не приводит к получению отличного аттестата. А вот самоконтроль приводит.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Тридцать лет назад психологи ошибочно считали, что повышение самооценки спасает от личных проблем и социальных трудностей.
- Оказалось, что реально помогает не повышение самооценки, а развитие самоконтроля. Способность контролировать свои порывы и желания критично важна для совместной жизни и работы с людьми.
- Динамика самоконтроля оказалась достаточно сложной темой. Сила воли может истощаться так, как будто имеет ограниченный объем.
- Сейчас способность контролировать себя исследуют еще и потому, что это важно для понимания механизмов наркотической зависимости.

Исследования самоконтроля начались в 1960-х гг. с экспериментов с отсроченным вознаграждением, проведенных Уолтером Мишелом (Walter Mischel), ныне работающим в Колумбийском университете. Он использовал методику, которая получила название «зефирный тест». Детям предлагался выбор: съесть одну зефиринку (или другое любимое лакомство) сейчас, или подождать и тогда получить две. Более чем через десять лет Мишел с коллегами нашли этих детей, которые были уже молодыми людьми, и потом встретились с ними еще раз, когда они уже достигли среднего возраста. Более успешными во взрослой жизни оказались те, кто лучше всего противостоял искушению в четыре года.

Поняв, как важен самоконтроль для благополучия человека, я вместе с коллегами занялся изучением психологических и биологических процессов, лежащих в основе этого явления. Выяснилось, что способность не проявлять агрессии и не брать зефиринку требует примерно такой же энергии, как и пробежка марафонской дистанции. Соответственно, как и любой другой источник сил, этот с течением времени исчерпывается и нуждается в пополнении. Результаты недавних исследований данной проблемы могут оказаться полезными и при поиске путей лечения алкогольной и наркотической зависимости.

Накачивание психических мускулов

Я вместе со своими замечательными и талантливыми коллегами уже четверть века занимаюсь лабораторными исследованиями. За это время я пришел к выводу, что самоконтроль, который можно назвать также саморегуляцией или силой воли, работает почти как мышцы. В частности, после работы он «утомляется». Уже в нескольких сотнях исследований в разных лабораториях показано, что после выполнения задания, требующего усилия воли, люди хуже справляются со вторым заданием такого типа. В одном из ранних исследований мы обнаружили, что люди, использовавшие самоконтроль, чтобы не съесть шоколадку или печенье, потом проявили меньше стойкости при решении трудной задачи. Они сдавались гораздо легче, чем те, чья сила воли не «устала». В других исследованиях люди пытались подавить запрещенные

мысли (например, им говорили, что нельзя думать о белом медведе), и впоследствии это снизило их способность контролировать эмоциональные реакции.

Мы ввели термин «истощение эго», чтобы обозначить состояние ослабленной силы воли после усиленного сопротивления искушению или принятия трудного решения. Термин был выбран в знак уважения к Зигмунду Фрейдю, который предполагал существование психической энергии. Его смутные представления о том, как действует эта энергия, сейчас в основном устарели, но важно то, что он считал, что наше поведение можно объяснять некоторыми формами психической энергии. Спустя десятилетия эта идея воскресла, когда в наших экспериментах обнаружилось, что самоконтроль похож на мышечную работу: под нагрузкой он утомляется.

Два других направления исследований еще усилили аналогию с мышцами. Марк Муравен (Mark Muraven) из Университета Олбани вместе с коллегами показали, что после нагрузки сила воли не утрачивается полностью. Скорее, организм начинает беречь энергию, а если возникает важная задача или возможность, самоконтроль снова появляется. Это похоже на то, что происходит с мышцами. Когда мышцы начинают уставать, спортсмены сокращают нагрузку, чтобы сберечь силы, но на финишной прямой они могут мобилизовать оставшиеся силы и ускориться.

Мышцы не просто утомляются: при регулярных тренировках они становятся сильнее. Самоконтроль тоже можно усилить путем тренировок, и это было показано на людях, которые занимались по специальной программе. В нескольких исследованиях участники эксперимента должны были в течение двух недель следить за своей речью: перестать употреблять нецензурные слова и говорить «да» и «нет» вместо «ага» и «не-а». В другом случае людей просили следить за своей позой — стоять и сидеть не сутулясь. Когда упражнения были завершены, мы оценили самоконтроль участников с помощью лабораторных тестов: надо было жать эспандер насколько можно дольше, при этом никаких требований к речи или поддержанию позы не предъявлялось. Те, кто на предыдущем этапе занимался саморегуляцией, справились с этой задачей достоверно лучше, чем те, кто не следил за речью или правильностью позы.

Это означает, что викторианское понятие «воспитание характера» приобретает научную обоснованность. Регулярные занятия самоконтролем, очевидно, увеличивают способность человека проявить это свойство при необходимости.

Когда мы проводили вышеописанные исследования, то спрашивали себя: действительно ли тут присутствует какая-то физическая энергия, уровень которой повышается, или это просто психологическая метафора? Ответ пришел случайно, когда сбой в одном эксперименте дал новую и полезную идею.

Есть ученые, которые движутся победным маршем от одного успешного исследования к другому, но я не из их числа. Мэтт Гэйлиот (Matt Gailliot), бывший в то время моим аспирантом, придумал продолжить наблюдения за истощением силы воли у человека, сопротивляющегося искушению. Что будет в обратной ситуации? Если не сопротивляться искушению, будет ли сила воли крепче?

У меня были сомнения, но я предложил Гэйлиоту заняться этим вопросом, который мы неофициально назвали «теория Марди Гра» с отсылкой к христианской традиции потакания греховным побуждениям перед периодом воздержания по случаю Великого поста. Для начала мы истощили

Недавно стало известно, что любые изменения, происходящие в мозге наркомана, не приводят к потере контроля над своими действиями: обычно человек может выбрать, сдаться ему или продолжить сопротивление

самоконтроль у людей, требуя, чтобы они подавляли мысли о белом медведе. Затем среди них случайным образом были выбраны участники, которым дали выпить вкусный молочный коктейль с мороженым, прежде чем предъявить им скрытый тест на силу воли, где надо было найти закономерность последовательности чисел в ряду. На самом деле закономерности там не было, мы просто смотрели, как долго люди будут ее искать, прежде чем сдадутся.

Участники, которые пили коктейль, искали закономерность дольше тех, кому коктейль не давали. Но кажущаяся победа теории Марди Гра закончилась, когда были проведены дополнительные контрольные эксперименты. Группа, которой не давали коктейль перед тестом, как и раньше, показала слабые результаты. Другой группе давали молочный коктейль с неприятным вкусом, он был несладкий и без мороженого, просто большой стакан невкусной молочной бурды. К несчастью для теории Гэйлиота, эта группа справилась с тестом лучше, чем те, кто не получал никакой еды. Сначала Гэйлиот расстроился, поскольку казалось, что эксперимент не удался. Но в процессе обсуждения нам

пришла в голову еще одна мысль: если это не было результатом потакания приятным слабостям, которое восстановило силу воли, может быть, все дело в калориях?

Мы подумали про глюкозу, сахар в крови, обеспечивающий энергией органы тела и в том числе мозг, который занимается самоконтролем. Мы провели большое количество исследований и пришли к двум выводам, которые со временем подтвердились. Во-первых, если уровень глюкозы в крови низкий, самоконтроль страдает — и обычно сильно. Кстати говоря, это заставляет с большим вниманием отнестись к распространенной жалобе, что человеку сложно работать из-за низкого содержания сахара в крови, и исследования диетологов это подтверждают.

Другой важный вывод в том, что доза глюкозы, введенная в момент, когда самоконтроль начинает ослабевать, позволяет восстановить силу воли и продолжить работу. Это означает, что сила воли — на самом деле не просто метафора. Кроме того, если из-за непрерывного самоконтроля снижается сила воли и не хватает энергии для ее поддержания, можно снизить требования к самоконтролю и таким образом сохранить оставшуюся энергию.

Третий результат не был подтвержден. В одном из исследований мы обнаружили, что уровень глюкозы в крови падает во время выполнения задания, где требуется самоконтроль. Это хорошо согласовалось бы с идеей, что при усиленном самоконтроле расходуется глюкоза. Но в последующих тестах мы не смогли повторно получить этот результат. Однако в некоторых исследованиях других лабораторий было показано, что при больших усилиях воли мозг потребляет больше глюкозы, что вполне логично, если учитывать, что именно он отвечает за самоконтроль.

Возражения против наших идей

Подобно многим другим научным теориям, наша модель самоконтроля развивается по мере того, как другие исследователи подключаются к работе. Некоторые продолжили то, что мы делали, другие пытались критиковать и опровергать. Все это вместе помогло конкретизировать наши представления о самоконтроле.

Был один спорный вопрос: действительно ли в мозге может заканчиваться «топливо», необходимое для силы воли? И мы, и другие ученые показали, что самоконтроль нарушается, если снижается содержание глюкозы в крови, это влияет и на тело, и на мозг. Некоторые исследователи утверждают, что в человеческом организме имеется большой запас глюкозы, который мог бы использоваться, если сила воли исчерпала все положенные ей запасы.

Наше понятие энергетического истощения воспринимается так скептически еще и потому, что



потребление мозгом глюкозы не меняется настолько сильно, как можно было бы ожидать. В древности были периоды, когда человек мог оказаться перед угрозой того, что глюкоза закончится, но в современном индустриальном обществе редко кто сталкивается с такой проблемой, и уж точно это не сытые студенты из наших экспериментов, у которых тем не менее наблюдалось истощение эго и нарушение саморегуляции.

Все эти возражения вполне понятны. Возможно, однако, что, хотя усиленный самоконтроль и не приводит к исчерпанию запасов глюкозы, когда организм чувствует, что уровень доступной глюкозы падает, он направляет сахар в первую очередь туда, где он критично нужен. В таком случае мы по-прежнему правы, считая, что сила воли — дорогостоящий ресурс, который надо экономить. Конечно, упрощенное представление, что истощение эго есть истощение энергетических ресурсов мозга, не выдерживает критики; правильнее говорить, что это желание сохранить частично растроченный ресурс.

Другая критика заключается в том, что любую нехватку самоконтроля можно преодолеть, если взять человека со сниженным количеством запасенной энергии и поместить в ситуацию, когда проявить силу воли действительно необходимо. Как показывают исследования, наделение людей властью или даже просто оплата их дополнительных усилий заставляют продолжать сохранять

хороший самоконтроль даже в тех ситуациях, когда их энергия вроде бы должна была закончиться во время предыдущих волевых усилий.

Может быть, все проблемы силы воли у нас в голове? Не запас ресурсов истощается, а люди просто теряют желание работать. Это может означать, что даже при снижении силы воли вы все равно сможете хорошо себя контролировать, если это будет необходимо. Вспомните о руководителе, который во время кризиса чувствует ответственность и понимает, что положение обязывает.

Критикуя нашу точку зрения, Вероника Джоб (Veronika Job), работавшая тогда в Стэнфордском университете, вместе с Кэрол Дуэк (Carol Dweck) и другими коллегами развивала теорию, что сила воли безгранична и что при достаточной мотивации человек может не останавливаться. Эти исследователи считают, что идея истощения эго — иллюзия, основанная на ложных представлениях.

Согласно нашей теории распределения энергии, человек не может длительное время пользоваться запасными ресурсами. Если ваша сила воли слегка утомлена, организм может пытаться экономить то, что осталось, но вы все еще можете получить оставшиеся ресурсы и хорошо выполнить задачу, если представятся благоприятные условия. Уставшие спортсмены берегут силы для важных моментов, от которых зависит победа. Люди с истощенным эго поступают так же с силой воли.

В своих исследованиях мы обнаружили, что люди, верящие в неограниченность силы воли, используют резервную глюкозу для повышения уровня сахара в крови, когда он должен был упасть. Однако при внимательном рассмотрении ситуация оказалось несколько сложнее.

Решающий результат был получен, когда люди не просто немного устали, а продолжали сохранять самоконтроль до состояния тяжелой усталости, которую уже невозможно было игнорировать. Кэтлин Вос (Kathleen Vohs) из Университета Миннесоты, Сара Эйнсуорт (Sarah Ainsworth), одна из моих аспиранток в Университете штата Флорида, а также и другие исследователи показали, что денежное вознаграждение или руководящая роль позволяют поддерживать самоконтроль, даже когда сила воли истощается. Но затем после ряда изнурительных упражнений внутренние ресурсы исчерпываются совсем и самоконтроль начинает снижаться. Причем те, кого заставили поверить в неограниченность силы воли, в итоге показали худшие результаты. Поначалу эта вера помогает, но затем это дает обратный эффект.

По-видимому, самоконтроль можно удерживать, но не бесконечно. В конце концов у вас закончится глюкоза — из-за того, что вы думали, что сила воли бесконечна, или потому, что вас назначили на руководящий пост. Вы просто готовы легче растратить ваши резервы. Но всему есть предел.

Иллюзия бесконечности самоконтроля равносильна вере в то, что деньги на банковском счету никогда не иссякнут. Вначале вы можете тратить свободно, но в итоге рискуете остаться без средств.

Можно ли избавиться от зависимости?

Как выяснилось в недавних исследованиях, есть сферы, в которых самоконтроль играет ключевую роль. Некоторые полученные результаты заставили пересмотреть представления о различных формах зависимости. Широко распространено мнение, что тяга к наркотикам, алкоголю или сигаретам подчиняет себе человека и что освободиться от этого невозможно без сложных медицинских процедур или как минимум твердой приверженности программе типа «12 шагов». Алан Лешнер (Alan Leshner), бывший директор Национального института по вопросам злоупотребления наркотиками, а теперь генеральный директор Американской ассоциации содействия развитию науки, утверждал, что наркомания — это «болезнь мозга». Он говорил, что можно курить или делать инъекции добровольно, но в какой-то момент переключатель в мозгу щелкнет, потребление наркотика перестает контролироваться волей и человек не может бросить, даже если хочет. Как только возникает зависимость, сила воли исчезает.

Однако недавно стало известно, что любые изменения, происходящие в мозге наркомана, не приводят к потере контроля над своими действиями. Обычно человек может выбирать, сдаться ему или продолжить сопротивление. Точнее, зависимость не приводит к изменениям в области мозга, ответственной за сознательный контроль движений, — моторной коре, которая запускает, например, действия, связанные с чисткой зубов или употреблением наркотиков. По мере роста зависимости решение взять в руки трубку для крэка не становится вдруг произвольным. На самом деле зависимость медленно и коварно меняет желания человека. Героин или сигареты вызывают приятные ощущения, поэтому формируется стремление к этим веществам.

Какое-то время наркоман может сопротивляться, но рано или поздно он уступает желанию снова и снова. Но это желание не всегда бывает сверхсильным. Вильгельм Хофманн (Wilhelm Hofmann), работающий сейчас в Кельнском университете, провел исследование, в котором в течение недели с людьми связывались в случайные моменты и просили сообщить о тех желаниях, которые сейчас приходят на ум. Стремление к сигаретам и алкоголю было слабее, чем многие другие желания.

Все это означает, что наркоман чувствует прерывистый поток одного слабого желания за другим. Проблема в том, что эти побуждения возникают часто. При этом нет всепоглощающего желания, которому невозможно противостоять.

По-прежнему продолжаются споры о том, найдется ли зависимость под волевым контролем или нет. Высказывания политиков, консультантов по проблемам наркомании и многих других помогают поддерживать миф, что зависимость коренится в подавляющем, неконтролируемом желании. Многие наркоманы поддерживают эту точку зрения, потому что это освобождает их от личной ответственности. Такие утверждения часто звучат в средствах массовой информации, быть может потому, что когда актеры и другие знаменитости, имеющие зависимость, хотят сохранить любовь и преданность своих поклонников, это проще сделать, если удастся объяснить употребление наркотиков внешними силами и неконтролируемой психологической потребностью. Поклонники могут быть не так благосклонны, если знаменитость признает, что ей просто нравится принимать наркотики.

Психологи спорят, может ли самоконтроль быть эффективным средством борьбы с зависимостью. В исследовании, проведенном в Великобритании, выяснилось, что консультанты по лечению наркомании, работавшие на добровольной основе, как правило, считают, что наркоманы могут контролировать свои побуждения. А те, кто получал плату за работу, предпочитали думать, что наркоманы беспомощны и не могут помочь себе сами. Это не значит, что врачи работают исключительно ради денег. Однако когда возникает спор, финансовые интересы могут подтолкнуть людей поддерживать то, что им выгодно, и искать недостатки в противоположной точке зрения.

Другой миф о зависимости гласит, что сильная тяга возникает только при отсутствии наркотического вещества. В талантливом исследовании, проведенном Майклом Сайеттом (Michael Sayette) вместе с его коллегами из Питтсбургского университета, показано, что курильщики считают, что их желание будет неуклонно возрастать, особенно если им запретить курить.

Оказалось, что это неверное убеждение. Участников исследования попросили воздержаться от курения некоторое время и периодически сообщать о силе своего желания. Не было постепенного роста стремления закурить, были непредсказуемые колебания силы желания. В других исследованиях показано, что когда человек бросает курить, желание курить снижается. Часто бывает, что человек снова начинает курить, но это происходит не из-за сильной тяги к сигарете, а случается при сочетании слабого желания и резкого снижения силы воли.

Зависимость — для сильных духом

Большинство людей согласны, что для избавления от зависимости нужна сила воли. Однако до недавнего времени мало кто согласился бы, что

самоконтроль необходим и для приобретения зависимости. Большинству из нас не понравились первый глоток пива и первая затяжка сигаретой. Медики предупреждают об опасности, и это тоже может помешать впервые попробовать. Чтобы преодолеть неприятные ощущения и сделать первый шаг на пути к зависимости, нужно усилие воли. Чтобы поддерживать зависимость длительное время, нужно затрачивать большое количество энергии на то, чтобы вредная привычка не мешала работе, семье и отношениям.

Рассмотрим, например, курение. Сегодня существует множество ограничений, и курильщики вынуждены разрабатывать сложные планы, чтобы заполучить возможность покурить. Когда в моем бывшем университете ввели правила, запрещающие преподавателям курить в своих комнатах, одна коллега героически пыталась их соблюдать. Я никогда не забуду, как она выходила из здания в метель, держа на руках младенца, с единственной целью — затянуться сигаретой.

Только подумайте, сколько усилий ей для этого потребовалось. Она должна была найти перерыв между занятиями, встречами и совещаниями, найти место, где курить разрешено. Потом она должна была тепло одеться и одеть ребенка. И не забыть взять сигареты и зажигалку, выходя в непогоду.

Я проводил вместе с Майклом Дэли (Michael Daly) из шотландского Университета Стерлинга и другими коллегами исследование курения в Нидерландах и нашел некоторые доказательства невероятной идеи, что для поддержания зависимости необходим хороший самоконтроль. Дэли с коллегами обнаружили, что запрет курения на рабочем месте, принятый в 2004 г., очень избирательно привел к сокращению этой привычки. Курение снизилось в основном среди тех, кто ниже оценил свой уровень самоконтроля, но затем постепенно они вернулись к старым привычкам. На тех, кто оценивал свой уровень самоконтроля как высокий, запрет не повлиял.

Ученые, придерживающиеся мнения, что зависимость связана со слабым самоконтролем, должны были бы ожидать другого результата: что люди с высоким самоконтролем изменят свое поведение, а с низким — продолжат курить. А наши результаты они могли объяснить тем, что людям с низким самоконтролем нужно было получить сильный толчок, чтобы преодолеть трудности, а дальнейший рецидив можно объяснить тем, что со временем страх перед законом почему-то снизился.

По-видимому, полученные результаты связаны с тем, что курильщику понадобилась сила воли, чтобы сохранить свою привычку. Люди годами комфортно курили прямо на своих рабочих местах. Внезапно такой возможности не стало.

Чтобы продолжить курить после запрета, надо было прилагать большие усилия, тщательно планировать, когда и где можно устроить перекур.

Люди с хорошим самоконтролем могут справиться с этими требованиями. Но те, у кого сила воли слабая, сдались и бросили курить на некоторое время. Со временем, однако, они увидели, как поступают курильщики с хорошим самоконтролем. Курильщики выходили в определенные места на улицу, оставалось только скопировать готовую стратегию.

В некоторых исследованиях показано, что люди способны последовательно планировать и осуществлять сложные стратегии, чтобы поддержать зависимость от героина или сигареты, — зависимость, которую ученые, врачи и даже сами пользователи считают стойкой. Возникает новый взгляд на зависимость. Усилия воли, которые люди тратят на поддержание зависимости, можно попытаться перенаправить в сторону избавления. Но эта идея порождает новые проблемы.

Врачу может оказаться сложно убедить человека с зависимостью в наличии проблемы, если человек не видит ничего разрушительного в том, чтобы немного выпить или вколоть обезболивающего, если это не сказывается на выполнении обязанностей

дома и на работе. Новые представления о зависимости лишней раз показывают, сколь сильно и разнообразно самоконтроль может влиять на наше поведение: ведь, как это ни парадоксально, он может даже способствовать сохранению вредных привычек. Способность контролировать собственные эмоции и желания, иногда с благими, а иногда и с дурными целями, помогает нам бесконечно адаптироваться к окружающему миру. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Баумейстер Р., Вос К., Кемпбелл Д., Крюгер Д. Мифология самооценки // ВМН, № 4, 2005.
- The Strength Model of Self Control. Roy F. Baumeister et. al. in Current Directions in Psychological Science, Vol. 16, No. 6, pages 351–355; December 2007.
- Willpower: Rediscovering the Greatest Human Strength. Roy F. Baumeister and John Tierney. Penguin Press, 2011.
- Uses of Self-Restraint to Facilitate and Restrain Addictive Behavior. Roy F. Baumeister and Andrew J. Vonasch in Addictive Behaviors (в печати).
- Видеозапись того как Баумейстер рассказывает о своей работе, см. по адресу: ScientificAmerican.com/apr2015/willpower



Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

Первая в мире нефтедобывающая стационарная платформа «Приразломная», построенная на ПО «Севмаш», позволяет круглый год вести добычу на арктическом шельфе в условиях дрейфующих ледовых полей

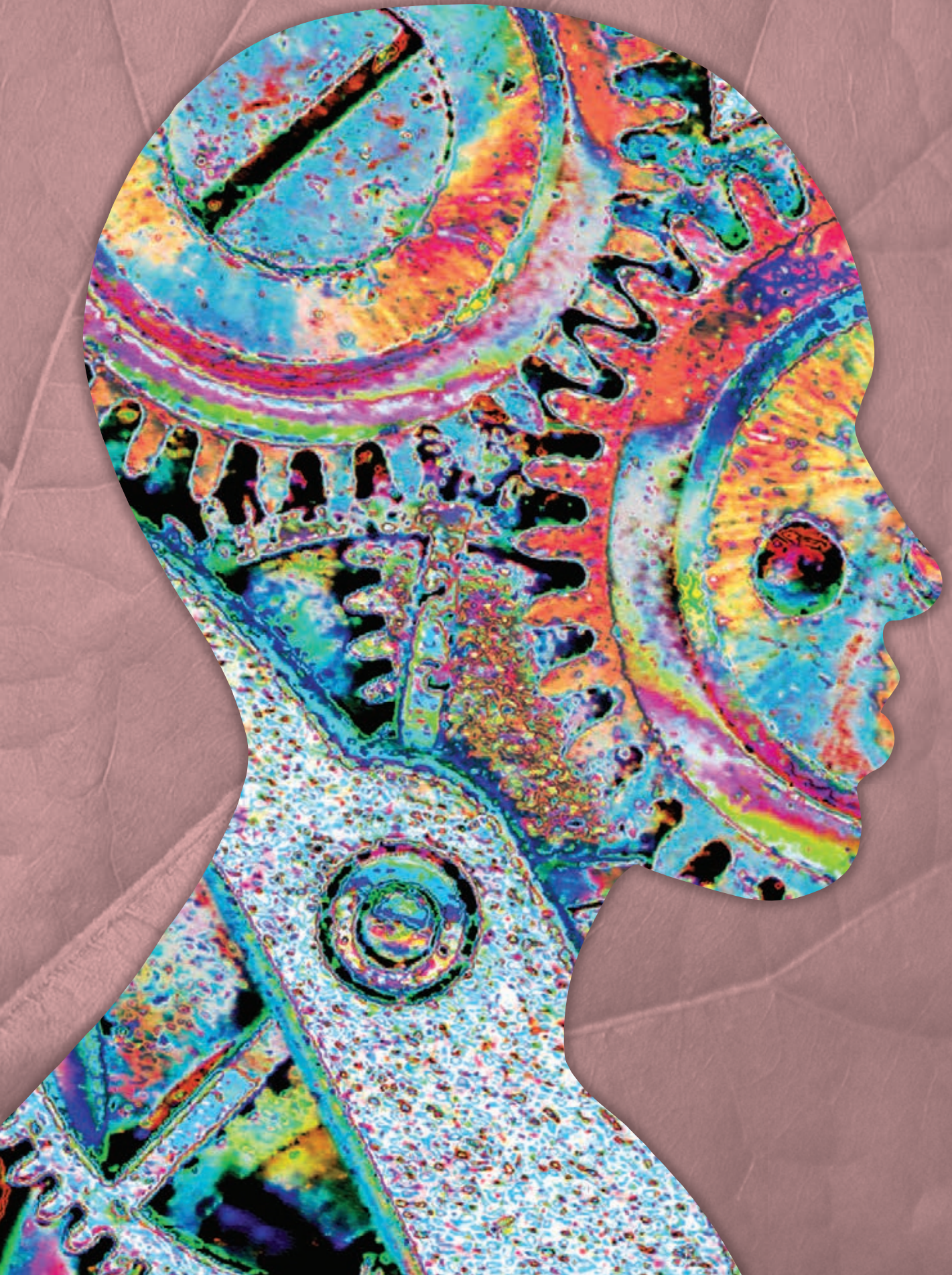
Признание континентальной природы подводных хребтов Ломоносова и Менделеева в Северном Ледовитом океане должно увеличить площадь нефтегазоносного арктического шельфа России на территорию, равную двум Франциям

В 1919 г. американцы были готовы обменять на 25 паровозов один из шедевров российского камнерезного искусства – шкаф-кабинет с уникальной каменной мозаикой, ныне хранящийся в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана

Бытовавшая у хантов и манси традиция использовать в ритуальных целях обычные бытовые предметы – от детских игрушек до фигурной посуды – превратила их святилища в своеобразные музеи, где хранятся экспонаты разных эпох и культур

ПОДПИСКА на 2015 г.
www.sciencefirsthand.ru

Электронная версия на www.pressa.ru



РАЗГОВОР С САМИМ СОБОЙ

Когда мы говорим сами с собой, это подбадривает, помогает контролировать эмоции, строить планы на будущее и поддерживать чувство собственного достоинства

Феррис Джабр

Несколько месяцев назад, когда я ехал в метро, вдруг с моих губ слетели слова «Нет, нет, об этом не надо беспокоиться». Фраза предназначалась мне самому, я в это время мысленно воспроизводил в уме недавний неловкий разговор. Хотя в одиночестве я и раньше иногда бормотал вслух, это был первый случай, когда такое произошло в публичном месте. Кажется, никто не проявил признаки беспокойства и даже не заметил. Тем не менее я не мог не встревожиться, что настолько оторвался от реальности. Не становлюсь ли я невротиком? не слишком ли много я говорил сам с собой, одержимый внутренним монологом?

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

- Мысленная речь — это, по сути, размышление в виде внутреннего монолога. Она составляет примерно четверть нашего сознательного опыта.
- Внутренняя речь нужна нам для решения задач, чтения и письма, чтобы мотивировать себя, строить планы на будущее и учиться на прошлых ошибках.
- Психотерапевты помогают людям, страдающим от тревоги и депрессии, приглушить и переписать содержание внутренней речи, чтобы уменьшить психологический ущерб и закрепить здоровые привычки.

К счастью, оказалось, что почти все разговаривают сами с собой, тихо или громко, большую часть времени. Психологи называют это внутренней речью или внутренним диалогом. Она возникает в детстве, когда ребенок играет. По мере взросления мы все реже говорим с собой вслух, но есть несколько исследований, в которых показано, что большинство подростков и взрослых иногда все-таки разговаривают с собой так, что их слышно. В исследовании, проведенном психологом из Университета Джорджа Мейсона Адамом Винслером (Adam Winsler) и его коллегами, 46 из 48 женщин признались, что время от времени вслух бормочут что-то себе под нос. А молча мы все разговариваем с собой на протяжении всей жизни. Такой тип мышления составляет примерно четверть нашего сознательного опыта.

Дать точное определение внутренней речи сложно, но, по сути, это мышление словами — в отличие от ярких непроизвольных воспоминаний сцен из детства или представлений о том, как будет выглядеть диван около той или иной стены, которые формируются прежде, чем мы подвинем этот предмет интерьера. Внутренний диалог можно вести с помощью речи или языка жестов, но он всегда образован словами и представляет собой сознательный опыт. Когда вы встаете утром и думаете: «Как хорошо, что уже пятница», это внутренняя речь. Когда друг усаживает вас и просит дать ему совет, а вы перебираете в уме несколько вариантов ответа, это тоже внутренняя речь.

Десятилетиями ученые изучают детскую внутреннюю речь, но только недавно они обратили серьезное внимание

на внутренние диалоги взрослых. По словам Чарлза Фернихоу (Charles Fernyhough), психолога из Даремского университета, сейчас ученым известно, что внутренняя речь используется повсюду. Она нужна нам при решении задач, письме и чтении, для повышения собственной мотивации, когда мы строим планы на будущее и учимся на прошлых ошибках.

**Внутренняя речь
служит постоянным
источником мотивации,
уверенности в себе
и руководством во всех
видах ситуаций —
при презентации
чего-либо, посещении
тренажерного зала
или приглашении
на свидание**

Однако в голове некоторых людей звучит голос, который они не считают своим собственным, — эти люди испытывают слуховые галлюцинации. В других случаях, например при аутизме, могут возникать сложности с формированием внутренней речи и это не дает людям возможность запоминать сложные инструкции и решать некоторые задачи. Иногда нашу внутреннюю речь нужно подкорректировать, например если она становится слишком критичной и погружает в черную пучину депрессии. Ученые выяснили, что если внутренняя речь замолкает, ее можно заменить извне. Психотерапевты помогают людям, страдающим от тревожности и депрессии, приглушить, а потом переписать слова внутреннего диалога, чтобы снизить психологический ущерб. Хотя внутренние голоса иногда неприятны, нам они необходимы. Некоторые исследователи предполагают, что внутренняя речь соединяет разные фрагменты чувственного опыта в единую мозаику самосознания. Чтобы быть собой, нужно с собой разговаривать.

Первые слова

Первым внутреннюю речь начал серьезно изучать российский психолог Лев Выготский. В 1920 г. он предположил, что ребенок усваивает то, что ему говорят родители, а потом, используя в новой ситуации те же лингвистические конструкции, говорит сам, и это помогает ему сконцентрироваться и успокоиться. Например, играя с кубиками, он может вслух озвучивать последовательность действий при строительстве башни, хотя его никто и не слышит. За прошедшие десятилетия ученые убедились, что внутренняя речь важна для освоения языка и помогает детям регулировать свои эмоции. С ее помощью малыши лучше решают задачи. Оказалось, что чем больше они разговаривают сами с собой, тем лучше собирают пазлы и решают логическую задачу, в которой надо расположить цветные шарики по трем стержням в определенной последовательности, выполнив минимальное количество действий.

Выготский также установил, что в отличие от обычной детской речи внутренний диалог ребенка ведется телеграфной речью и очень идиоматичен — наподобие коротких заметок, нацарапанных на полях книги. Сейчас известно, что беззвучная внутренняя речь взрослых — такая же. Поскольку вы уже знаете, что именно имеете в виду, можно не трудиться объяснять все полными предложениями.

На протяжении многих лет ученые придумывали хитрые способы захвата мимолетных мыслей в голове человека. Например, в начале 1970-х гг. психолог Рассел Херлберт (Russell Hurlburt) из Университета Невады в Лас-Вегасе снабжал добровольных участников эксперимента устройствами, которые издавали звук в случайные моменты времени. Как только люди слышали звуковой сигнал, они должны были прекратить все дела, и записать, о чем сейчас думают. Позже антрополог Эндрю Ирвинг (Andrew Irving) из Манчестерского университета попросил 100 добровольцев носить с собой небольшой микрофон и надиктовывать свои мысли во время прогулки по улицам Нью-Йорка. В результате получилась запись потока сознания.

С помощью этих и похожих исследований обнаружилось, что люди часто используют внутренний диалог для саморегуляции:

чтобы направлять внимание, смягчать неконтролируемые эмоции и напоминать себе о правилах приличия. Внутренняя речь позволяет поддерживать мотивацию, уверенность и управлять собой во всех жизненных ситуациях — при проведении презентации для коллег, раннем подъеме, чтобы успеть в спортзал или на работу, чтобы решиться пригласить кого-то на первое свидание. Особенно хорошо изучено, как это работает в спорте.

Традиция произносить напутственную речь перед соревнованиями или битвами существует уже много веков, в древнем Риме ланиста (хозяин гладиаторов) использовал ее для подготовки бойцов к битве, современные футбольные тренеры с ее помощью настраивают свою команду в раздевалке. Спортсмены шепчут себе определенные фразы, чтобы сохранять спокойствие во время игры. Однако только в последнее десятилетие спортивные психологи собрали достаточно доказательств того, что внутренняя речь действительно улучшает спортивные результаты. Подобный внутренний диалог может содержать два типа фраз: мотивационные — состоящие из простых подбадривающих утверждений вроде «у меня получится», «я сделаю этот бросок» и фразы-инструкции с указанием конкретных действий. Первые придают уверенность, повышают настроение и концентрируют энергию и силы для выполнения задачи, вторые улучшают сосредоточенность и точность выполнения. В 2008 г. в Вустерском университете Кристиан Эдвардс (Christian Edwards) с коллегами пригласили в лабораторию 24 игроков команды колледжа по регби и попросили их несколько раз подпрыгнуть вверх как можно выше. При этом 16 человек за 20 секунд перед каждым прыжком использовали либо мотивационную

внутреннюю речь («я могу прыгнуть выше»), либо фразу-инструкцию («согнуться и прыгнуть»), а оставшиеся восемь человек ничего не говорили себе мысленно. Спортсмены, использовавшие мотивационную внутреннюю речь, прыгнули выше всех, а те, кто ничего мысленно не произносил, прыгнули ниже всех.

Иногда недовольство собой тоже может мотивировать. Хотя тренеры обычно советуют спортсменам избавляться на поле или корте от всех самоосуждающих мыслей, исследования показали, что легкий упрек помогает многим спортсменам начать играть лучше.





В еще одном исследовании было показано, что полезно произносить подробные инструкции вслух. В 2012 г. спортивный психолог из Фракийского университета им. Демокрита (Греция) Элени Зету (Eleni Zetou) с коллегами попросили 28 подростков, начинающих учиться игре в волейбол, в течение четырех недель один час в неделю выполнять упражнение, мысленно проговаривая: «Подбрасываю мяч, отвожу руку назад за голову, смотрю на мяч и бью по нему». В то же время еще 29 человек тренировались без этих слов. Потом волейбольные тренеры по видеозаписям оценивали навыки игроков. После тренировок

качество выполнения в обеих группах улучшилось, но те игроки, кто использовал на тренировках внутреннюю речь, получили в среднем 44 балла из 50 возможных, а те, кто ничего мысленно не говорил, — 35. Подробные напоминания о том, как приблизиться к цели или сделать штрафной бросок, по-видимому, особенно полезны начинающим спортсменам, чьи движения из-за недостаточной тренировки еще не стали автоматическими.

Кроме того что внутренняя речь помогает людям в текущий момент времени, она нужна и чтобы учиться на прошлом опыте и строить планы на будущее. Репетируя то, что собираемся сказать, и мысленно повторяя то, что уже было сказано, мы можем выявить бестактную фразу и больше не произносить ее. Рассказывая себе о будущем, мы определяем, чего хотим или не желаем добиться в жизни. Внутренняя речь настолько важна для мысленного путешествия во времени, что если она исчезает, то может исчезнуть и понимание понятий «до» и «после».

В 1972 г. клинический психолог Клод Скотт Мосс (Claude Scott Moss) описал свое состояние после перенесенного инсульта, в результате которого он

не мог говорить и временно утратил внутреннюю речь. «У меня не было возможности думать о будущем, беспокоиться о нем, строить планы, по крайней мере при помощи слова. Фактически первые четыре-пять недель после попадания в больницу я просто существовал».

Многоголосье в голове

Хотя возможность говорить с самим собой дает большие преимущества, избыток неправильной внутренней речи может иметь неприятные последствия. Навязчивые мысли о болезненных переживаниях — это одновременно и фактор риска, и симптом

депрессии. В сознании людей, страдающих от тревожных расстройств, часто фигурируют мысли о неминуемой гибели. Некоторые психиатры на основе содержания внутренней речи оценивают степень тяжести тревожного расстройства и депрессии. В 2007 г. в Темпльском университете психолог Филипп Кендалл (Philip Kendall) с коллегами исследовал 145 детей с генерализованным тревожным расстройством и социофобией; детей спрашивали, насколько часто за последнюю неделю у них возникали мысли о собственной тревожности («Я очень нервничаю») или позитивные мысли («Я победитель»). Кендалл обнаружил, что чем больше тревожные внутренние высказывания преобладают над позитивными, тем более выражено тревожное расстройство у ребенка, а чем сильнее в процессе терапии меняется соотношение этих высказываний, тем значительно улучшается состояние.

Чарльз Фернихоу говорит: «Люди понимают, что навязчивые мысли играют большую роль в формировании тревожности и депрессии, и лечение может быть направлено на изменение тех слов, которые вновь и вновь звучат во внутренней речи. Полезно бывает даже просто поговорить с людьми о том, что такое внутренняя речь и откуда она берется». Возможность дать звучащим в голове мыслям официальное название «внутренняя речь» и понимание, что ее можно поменять, уже оказывают большую поддержку. Психиатры разработали несколько стратегий, помогающих людям поймать себя на навязчивых пессимистичных или осуждающих мыслях прежде, чем они размножатся. Объединив, например, когнитивно-поведенческую терапию и медитацию осознанности, можно лучше увидеть свои мысленные привычки — и, возможно, это поможет их поменять. При депрессии стараются превратить внутреннюю речь из негативной в позитивную и заменить фразы типа «нет смысла сегодня вылезать из кровати, ты никому не нужен и работа у тебя убогая» на «такое счастье, что у меня есть семья и друзья, которые меня любят, отличная работа, где коллеги всегда поддержат».

В то время как люди с депрессией и тревожностью должны научиться выключать ненужные фразы у себя в голове, у других

людей противоположная проблема: они вообще не могут говорить сами с собой. Поскольку дети приобретают внутреннюю речь, общаясь с взрослыми, у людей с заболеваниями аутистического спектра, которым сложно распознавать социальные сигналы и участвовать в разговоре, могут быть трудности с усвоением разговора и формированием внутренней речи. В частности, детям с аутизмом сложно следовать правилам в задачах типа «Если на карточке красный кружок, то положи ее сюда, если

По словам одного психолога, навязчивые мысли играют большую роль в формировании тревожности и депрессии, и лечение может быть направлено на изменение тех слов, которые вновь и вновь звучат во внутренней речи

голубой треугольник, то вон туда», особенно когда инструкции нужно проговаривать про себя. Однако в 1999 г. психолог из Кембриджского университета Джеймс Рассел (James Russell) вместе с коллегами показал, что дети с аутизмом могут преодолеть эту проблему, если им позволить произносить инструкции вслух. Рассел попросил 19 детей с аутизмом и 19 нормально развивающихся детей в возрасте от пяти до восьми лет говорить «день», если на картинках показана луна, и «ночь», если на картинках солнце. Ответ надо было просто назвать, не надо было ничего писать или сортировать карточки. Дети из обеих групп одинаково хорошо справились с задачей.

В 2007 г. Уинслер с коллегами провели исследование, дополнившее ранее имевшиеся сведения. Уинслер проанализировал видеозаписи 33 человек с аутизмом в возрасте от семи до 18 лет и 28 нормально



развивающихся детей и подростков, где они выполняли задание по сортировке карточек и играли на компьютере в игру, в которой надо было получить палочку нужной длины, добавляя и убирая фрагменты. Детям с аутизмом потребовалось больше времени, чтобы успешно выполнить задание, но если они могли говорить вслух сами с собой, то это помогало им гораздо сильнее, чем здоровым детям.

Есть люди, у которых трудности не с формированием или редактированием внутренней речи, а с пониманием, чья она. Вербальные галлюцинации — это голос, который люди слышат у себя в голове,

но не считают своим. Раньше это считалось признаком шизофрении, но сейчас известно, что вербальные галлюцинации могут наблюдаться также при биполярном расстройстве, расстройстве личности, при временных психозах; кроме того, по данным, опубликованным Фернихоу с коллегами в 2012 г., примерно 15% здоровых людей периодически слышат несуществующие звуки или голоса.

Когда мы мысленно разговариваем сами с собой, область лобной доли мозга, известная как центр Брока, отвечающая за формирование речи, посылает команды на границу теменной и височной доли в зону Вернике, необходимую для понимания речи. В зону Вернике поступает сообщение, что на этот голос не надо реагировать как на чужой. (Похожая обратная связь не дает нам самим себя пощекотать: мозг сообщает, что щекочущее воздействие производим мы сами.) в 2001 г. психиатр Джудит Форд (Judith Ford) из Калифорнийского университета в Сан-Франциско вместе с коллегами обнаружила, что у людей с вербальными галлюцинациями сигналы, идущие между зонами Брока и Вернике, слабее, чем у людей в среднем. Существуют участки мозга, различающие разные

мысленные голоса, например свой внутренний голос и воспоминания о голосе друга. Показано, что у тех, кто слышит голоса, в этих зонах активность либо снижена, либо аномальна. Эти неврологические открытия будут полезны исследователям при разработке лечения для тех людей, чья система внутренней речи нуждается в дополнительной настройке.

Опасная тишина

Вербальные галлюцинации часто приводят людей к потере реальности. У здоровых людей внутренняя речь играет противоположную роль: она подтверждает, кто мы

Детям с аутизмом проще следовать правилам типа «если на карточке красный кружок, положи ее сюда», когда им разрешают разговаривать с собой вслух

и что чувствуем. Наиболее важная и самая труднодоступная для экспериментального исследования задача внутренней речи — сохранение чувства собственного «я». Каждый день наше сознание пишет и редактирует текущую историю нашей жизни. Мы зависим от непрерывного потока простых тихих мыслей: «все хорошо, день начался»; «стоит взять зонтик»; «это напомнило мне о...», — который сохраняет нашу личность как разумное, обладающее сознанием существо, имеющее прошлое и будущее.

Писательница и политическая активистка Хелен Келлер (Helen Keller), в раннем детстве лишившаяся зрения и слуха, рассказывает, что до того, как она освоила язык, у нее не было самосознания: «До появления учительницы я не знала, кто я. Жила в мире, который миром не был... Когда же поняла значение "я" и "мне" и поняла, что существую, то начала думать. Тогда у меня впервые появилось сознание».

Психолог Ален Морин (Alain Morin) из Университета Маунт-Ройал в Калгари использует такие рассказы, чтобы обосновать свою теорию, что внутренняя речь — «одно из важнейших средств самосознания, и она настолько важна, что ее потеря вызывает серьезные нарушения». Один из недавних и наиболее острых случаев такого нарушения — история нейроанатома Джил Болт Тейлор (Jill Bolte Taylor).

В 1996 г., пока 37-летняя Джил спала, у нее в мозге лопнул кровеносный сосуд. Она проснулась из-за пульсирующей боли за левым глазом. В то утро она потеряла способность ходить и говорить и забыла многое в своей жизни. У нее в голове

образовался сгусток крови размером с мяч для гольфа и перекрыл поступление кислорода к зонам Брока и Вернике. В результате инсульта Тейлор временно потеряла большую часть способности мысленно разговаривать с собой и, похоже, вместе с ней и большую часть самосознания. Были моменты, когда внутренний голос исчезал и в голове воцарялась полная тишина. Она пишет: «Эти тихие голоса в моем мозге, которые обычно держали меня в курсе моего отношения к миру, чудесным образом пропали. И вместе с ними испарились мои воспоминания о прошлом и мечты о будущем».

Знакомство с такими впечатлениями позволяет высказать увлекательнейшую идею, что наше самосознание — сложная иллюзия, которая поддерживается нашей непрерывной внутренней болтовней. Когда внутренний голос замолкает, мы перестаем существовать. Если это действительно так, то нам всем следовало бы уравновешивать нашу эгоцентричность немного большим количеством смирения и юмора. Рассказывая о пережитых испытаниях, Джил говорит: «Джил Болт Тейлор умерла тогда. У меня не было ее воспоминаний, предпочтений и антипатий, ее образования, злости, любви, отношений. Теперь я и наполовину не воспринимаю Джил Болт Тейлор настолько всерьез, как раньше». ■

Перевод М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ:

- Still Talking to Ourselves after All These Years: A Review of Current Research on Private Speech. A. Winsler in Private Speech, Executive Functioning, and the Development of Verbal Self-Regulation. Edited by A. Winsler, C. Fernyhough and I. Montero. Cambridge University Press, 2009.
- Effects of Self-Talk: A Systematic Review. D. Tod, J. Hardy and E. Oliver in Journal of Sport Exercise Psychology. Vol. 33, No. 5 pages 666–687; October 2011.
- Inner Speech. A. Morin in Encyclopedia of Human Behavior. Second edition. Edited by V.S. Ramachandran. Elsevier, 2012.
- The Essence of Optimism. Elaine Fox. Scientific American Mind. January/February 2013.
- Listening to Voices. Eleanor Longden. Scientific American Mind. September/October 2013.

БИОЛОГИЯ

Буйная ЭВОЛЮЦИЯ

У цихлид потрясающая скорость видообразования. Недавно были выявлены генетические особенности, за счет которых в этой группе рыб происходит быстрое формирование новых видов

Аксель Майер



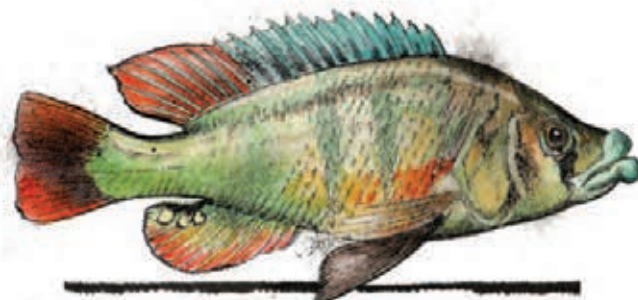
Yssichromis pyrrocephalus



Neochromis omnicaeruleus

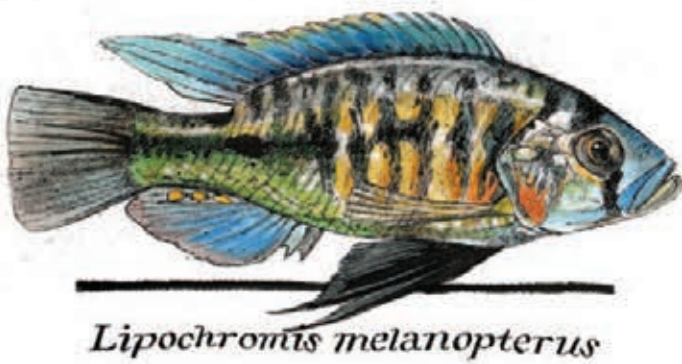
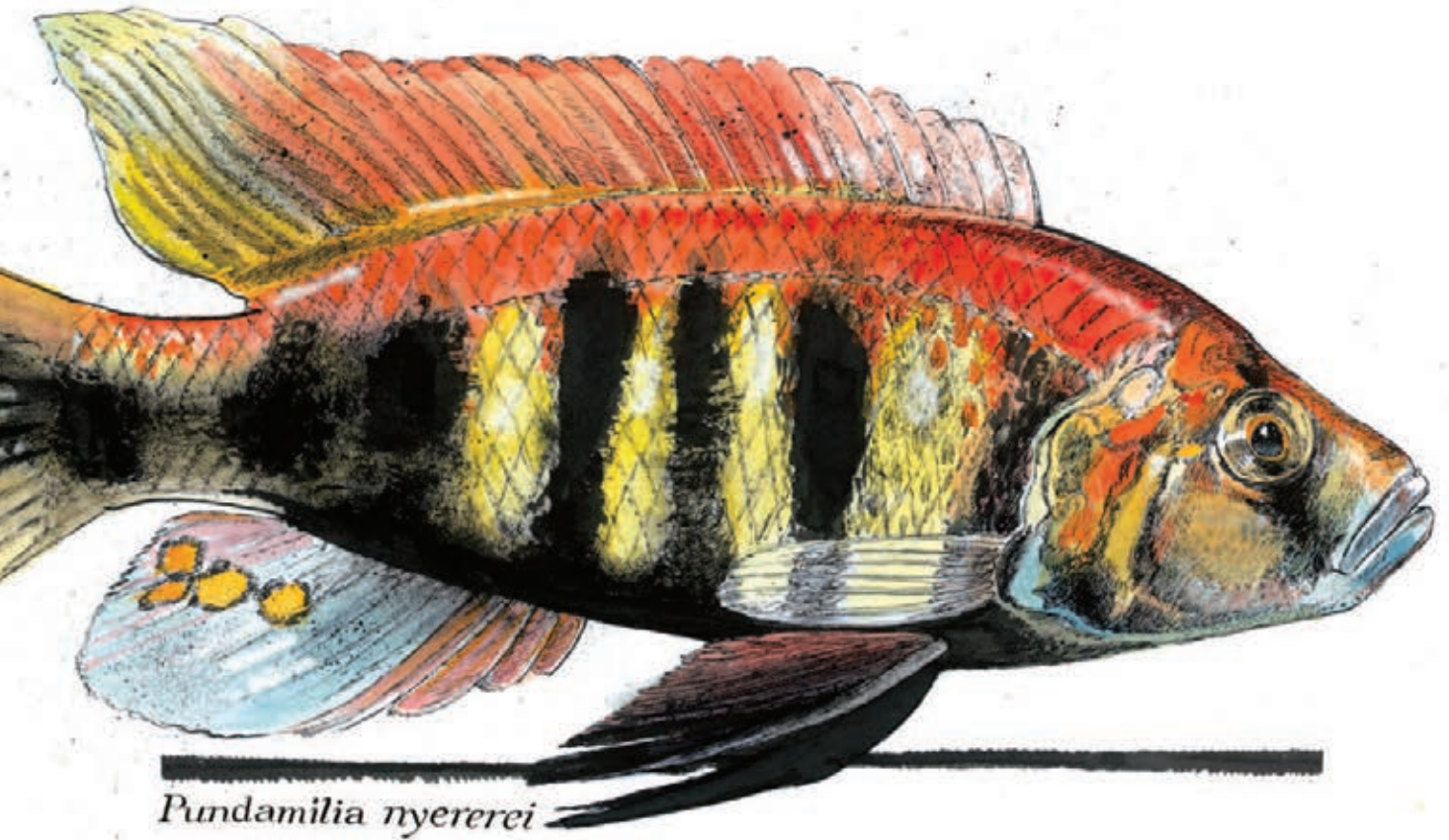


Macropleurodus bicolor



Paralabidochromis chilotes

Цихлиды в восточноафриканском озере Виктория удивительно разнообразны. Предполагается, что около 500 видов, отдельных представителей которых вы видите на картинке, возникли в течение очень короткого срока: за последние 15 тыс. лет.



ОБ АВТОРЕ

Аксель Майер (Axel Meyer) — профессор зоологии и эволюционной биологии в Констанцском университете в Германии, занимается изучением происхождения адаптаций и биоразнообразия на молекулярном и организменном уровнях. Он был одним из первых ученых, кто начал использовать ДНК для исследования различий между видами и процесса видообразования.



В озере Виктория в Африке происходит один из крупнейших эволюционных экспериментов. В этих водах одна эволюционная ветвь рыб дала начало семейству цихлид с огромным разнообразием форм. Подобно знаменитым дарвиновским вьюркам с Галапагосских островов, у которых сформировались клювы разных форм и размеров в зависимости от того, к какому источнику пищи приспосабливалась птица, эти цихлиды представляют собой классическую иллюстрацию того, что биологи называют адаптивной радиацией, когда из одного вида образуется большое количество новых, занимающих разные экологические ниши. Цихлиды озера Виктория намного опережают дарвиновских вьюрков по скорости дивергенции: те более 500 видов цихлид, которые живут там и только там, возникли в течение последних 15–10 тыс. лет, т.е. практически мгновенно по сравнению с 14 видами вьюрков, появившимися за несколько миллионов лет.

Озеро Виктория — не единственное место обитания цихлид. В других тропических пресноводных озерах и реках Африки, Америки и Индии живут свои виды этих рыб. Всего в семействе насчитывается более 2,5 тыс. видов. Некоторых из них, в частности тилапию, выращивают для еды, это один из важнейших объектов разведения в рыболовных хозяйствах в мире. Многие цихлиды, например астронотусы и скалярии, пользуются популярностью у аквариумистов-любителей, поскольку имеют красивую окраску и интересное поведение при уходе и заботе о потомстве. А многие виды еще только предстоит описать. В этих озерах помимо цихлид живут рыбы и других семейств, но только у цихлид образование новых видов происходит так интенсивно. Действительно, ни одна другая группа позвоночных

не может сравниться с цихлидами по количеству видов, разнообразию формы тела, окраске и поведению. В то же время любопытно, что эволюция этих рыб часто копировала сама себя: одни и те же приспособления возникали независимо у разных групп цихлид.

Как и другие ученые, я давно удивлялся разнообразию форм у цихлид и задумывался, что же позволило данной группе развиваться таким образом. Благодаря последним достижениям в области секвенирования геномов стало возможным изучить ДНК цихлид, чтобы найти причины многообразия этой группы. Пока мы еще далеки от полного решения загадки, но уже обнаружили особенности геномов цихлид, благодаря которым новые виды могли образовываться с такой высокой скоростью и при этом некоторые черты могли заново

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Цихлиды — самое разнообразное семейство позвоночных, к нему относится более 2,5 тыс. видов рыб.
- Недавно были расшифрованы геномы нескольких видов цихлид, что позволило прояснить причины поразительного разнообразия в этом семействе.
- У цихлид есть ряд генетических особенностей, благодаря которым эволюция этой группы могла ускориться.
- Другими особенностями генома объясняется наличие у разных видов цихлид схожих адаптаций, возникших независимо друг от друга.

возникать снова и снова. Когда мы изучаем генетический механизм, обеспечивший этим рыбам чрезвычайную успешность, мы подбираемся к тем закономерностям эволюционного процесса, выявление которых поможет ученым понять происхождение всех возможных видов.

Разные, но похожие

Для того чтобы представить себе, насколько разнообразны цихлиды, рассмотрим тех, что живут в озере Виктория и двух других озерах, откуда происходило массовое расхождение видов восточноафриканских цихлид. В озере Ньяса (Малави) живут 800–1000 видов цихлид, в озере Танганьика — 250 видов, это потомки древних групп, одна из которых поселилась в более молодых озерах, где и дала начало всему спектру видов. Окраска цихлид бывает всех цветов радуги, а длина от 2,5 см до 1 м. Для каждого типа пищи, имеющегося в их среде обитания, существует вид цихлид, приспособленный к поеданию именно этого корма. У рыб, соскребающих водоросли, зубы плоские, как резцы у человека, что позволяет им обгрызать питательный слой на поверхности скал. У насекомоядных цихлид длинные заостренные зубы, чтобы вытаскивать добычу из расщелины. У хищников, охотящихся в засаде, выдвижные челюсти, с помощью которых ничего не подозревающая добыча засасывается в пасть за несколько миллисекунд. Это лишь некоторые основные разновидности специализации. Среди обскребателей водорослей, например, есть виды, которые приспособлены кормиться у прибрежных камней, другие собирают еду с одной конкретной группы камней, третьи соскабливают строго определенный вид водорослей и только с камней, ориентированных под определенным углом.

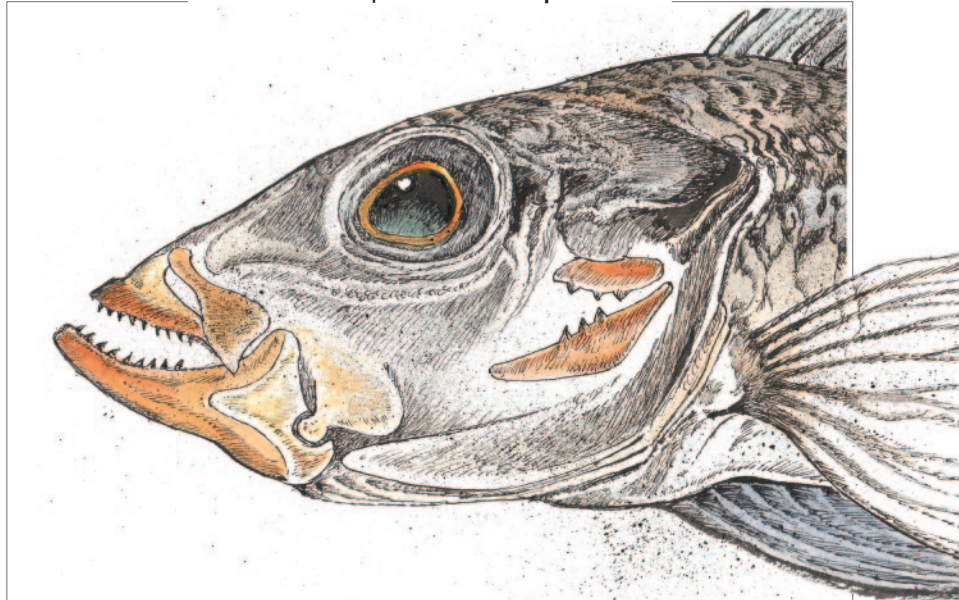
Удивительно, что при всем многообразии восточноафриканских цихлид некоторые узкоспециализированные черты возникали у них неоднократно. Например, во всех трех озерах есть виды цихлид, питающиеся исключительно чешуей других рыб. У них у всех крючкообразные зубы, с помощью которых они цепляют чешую жертвы. Такие зубы — не единственное приспособление к данному типу питания. У них еще и асимметричные челюсти, так что рот сильнее открыт с одной из сторон, что позволяет лучше вырывать чешую

из соответствующего бока жертвы. «Левоголовые» цихлиды выдергивают чешуи из правого бока добычи, «правоголовые» — из левого. (Естественный отбор поддерживает равновесие между этими двумя формами: среди рыб, питающихся чешуей, которых мы с коллегами выловили в озере Танганьика, количество правоголовых и левоголовых было примерно одинаковым.) У пожирателей чешуи специфический набор приспособлений, но почему-то одни и те же черты возникали в восточноафриканских озерах независимо по крайней мере три раза.

Еще одно приспособление, возникавшее неоднократно, — увеличенные губы у видов, охотящихся на добычу, которая прячется в расщелинах скал. Мы с коллегами показали, что такие «губы Анджелины Джоли» обеспечивают плотное соприкосновение с камнем, когда рыба высасывает из щели свою жертву. Те цихлиды, у кого нет таких губ, не могут эффективно извлекать добычу из узких щелей. Примечательно, что и этот признак возник независимо в трех африканских озерах и еще в двух местах в Америке.

Точно так же в разных местах у рыб независимо возникала одна и та же окраска. У большинства цихлид на туловище вертикальные черные полосы, которые, предположительно, маскируют их от взгляда хищников, но у нескольких видов в каждом из трех озер полосы расположены горизонтально. Такой рисунок наблюдается

Главное эволюционное новообразование



ОДИН ИЗ СЕКРЕТОВ УСПЕХА: ВТОРЫЕ ЧЕЛЮСТИ

Помимо пары челюстей во рту у цихлид есть еще вторая пара — в глотке. Обе пары могут использоваться для питания. Благодаря вторым челюстям цихлиды могут свободно приспосабливаться к любым видам пищи начиная от водорослей и заканчивая чешуей других рыб и не рискуют при этом остаться без еды, если ресурс закончится.

ЧТО ОБНАРУЖИЛИ В ГЕНОМЕ

В результате недавно проведенных расшифровки и анализа геномов африканских цихлид было выявлено несколько механизмов, благодаря которым цихлиды могут быстро образовывать большое количество разных форм. Работой таких механизмов можно объяснить и другую удивительную особенность этих рыб — часто встречающуюся параллельность образования признаков, когда одни и те же черты независимо возникают у разных групп.

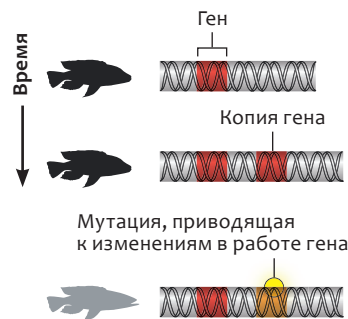
Многочисленные мутации

Наличие повышенного количества мутаций, вызывающих замены аминокислот в белках, означает, что гены, содержащие эти мутации, испытывали сильное давление естественного отбора.



Удвоение генов

В геноме цихлид часто возникает удвоение генов, когда в результате нарушения репликации ДНК образуются копии имеющегося гена. Дополнительные копии могут изменяться без ущерба для рыбы, и таким образом формируются новые приспособления к условиям окружающей среды.



преимущественно у быстрых хищных видов, живущих на открытых водных пространствах: вероятно, горизонтальные полосы мешают осторожным жертвам распознать тело хищника.

Как возникают новые признаки

Кажущееся противоречие между чрезвычайным разнообразием и параллельным возникновением схожих признаков вызывает несколько важных вопросов, касающихся эволюции. Обычно, если животное узко приспособлено к определенному типу питания, а потом вдруг что-то идет не так, то вид оказывается на грани вымирания. Каким образом цихлидам удалось избежать подобных проблем? Один из ответов, по-видимому, кроется в странной анатомической особенности, которая среди пресноводных рыб встречается только у цихлид. У всех цихлид есть обычная пара челюстей и еще вторая пара, расположенная в глотке, как у монстра из фильма «Чужой». Когда эти рыбы едят, пища в первую очередь захватывается и обрабатывается челюстями, которые во рту, и только потом глоточными. Получается, что ротовые челюсти могут быть приспособлены к одному виду пищи, а глоточные — к другому. Таким образом, многие цихлиды могут употреблять разную еду, но в то же время иметь и узкую специализацию. И если их обычный источник пищи иссякнет или появится что-то более подходящее, они из узкоспециализированных видов превращаются во всеядных.

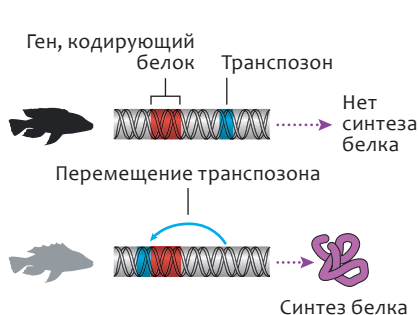
Наличие глоточных челюстей позволяет объяснить, почему у цихлид столь незначителен риск, связанный с пищевой специализацией, но что послужило у них источником всех этих новых признаков? Почему гены, кодирующие признаки, изменялись так быстро, и каким образом одинаковые

приспособления независимо возникли в разных группах рыб? В последнее время благодаря появлению быстрых методов секвенирования генома под руководством Института Броуда в Кеймбридже, штат Массачусетс, была создана ассоциация *Cichlid Genome Consortium*, и мы вместе с более чем 70 исследователями из лабораторий по всему миру начали выяснять причины ошеломляющего успеха цихлид. В прошлом году мы впервые расшифровали последовательность нуклеотидов в геномах цихлид. Мы получили полные последовательности для пяти африканских видов и частичные для 60 особей из шести близкородственных видов цихлид озера Виктория. Мы сравнили эти геномы друг с другом и с геномами родственных цихлид колюшек, которые гораздо менее разнообразны, и таким образом смогли выявить особенности геномов цихлид, благодаря которым обеспечивается столь высокое разнообразие видов в этом семействе.

Сначала в геномах искали мутации, которые вызывают изменения в аминокислотах, входящих в состав белков. Белки выполняют в клетках большую часть работы, и во многих генах кодируется последовательность аминокислот, составляющих определенный белок. Если в каком-то белке часто встречаются аминокислотные замены, это означает, что гены, в которых произошли мутации, подвергались сильному давлению отбора, т.е. условия были таковы, что рыбы, получившие такую аминокислотную замену, обретали преимущество при выживании и размножении. Мы секвенировали геном тилапии, у которой по сравнению с другими цихлидами нет выдающихся эволюционных приобретений, но даже у этого вида было больше мутаций, чем у колюшки. А у цихлид из чрезвычайно разнообразных групп, живущих в озерах Ньяса

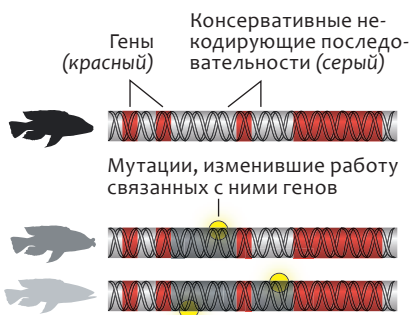
Транспозоны

Участки ДНК, которые делают копии самих себя и перепрыгивают в новые места генома, называются транспозонами, или прыгающими генами. Когда транспозон встраивается в новое место, он может повлиять на работу расположенного рядом гена, кодирующего какой-нибудь белок. В истории цихлид было несколько периодов, когда такие перестройки осуществлялись в большом количестве; по-видимому, это ускорило эволюционный процесс.



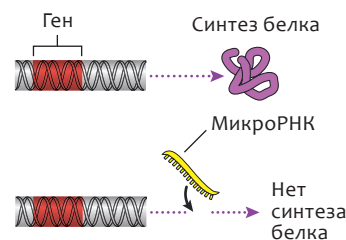
Мутации в консервативных участках генома

Некоторые участки генома, не кодирующие белок, обычно не меняются в процессе эволюции, возможно, потому, что они регулируют работу генов. У цихлид в этих участках обнаружено больше мутаций, чем можно было бы ожидать. Это означает, что некоторые гены поменяли свои функции.



Новые микроРНК

МикроРНК (маленькие фрагменты генетического материала) могут блокировать работу генов. Они обычно почти не меняются в процессе эволюции. У цихлид по сравнению с другими видами рыб возникло больше новых микроРНК. Т.к. микроРНК могут контролировать работу генов в определенных тканях, вероятно, они могли повлиять на формирование у цихлид приспособлений к разным типам питания.



(Малави) и Виктория, частота мутаций в несколько раз выше, чем у тилапии. Про многие изменившиеся в результате мутаций гены известно, что они участвуют в формировании челюстей, что вполне понятно, учитывая способность цихлид приспосабливаться к разным типам питания. Таким образом, сильное давление отбора, действующее сразу на многие гены, было одним из механизмов, ускоривших видообразование у цихлид.

Но большое значение могут иметь и отдельные гены. В моей лаборатории мы доказали, что ориентация полос на теле цихлид определяется всего одним геном. Огромное разнообразие цихлид может создаваться генами, которые в одиночку значительно меняют внешний вид организма, как, например, это делает ген, кодирующий полосы.

Кроме того, мы обследовали геном цихлид в поисках множественных копий генов. Уже несколько десятилетий ученым известно, что удвоение генов, возникающие при нарушении репликации ДНК, — один из важнейших способов быстрого появления дополнительных новых признаков. В сущности, если ген был удвоен, он может меняться без потери организмом того признака, который определялся исходным геном (поскольку другая копия продолжает работать), и такие изменения потенциально могут повысить приспособленность животного. Иначе только очень немногие мутации обойдутся без ущерба для организма. Как показали наши исследования, у цихлид число удвоений генов в пять раз выше, чем у «обычных» рыб, таких как колюшки.

Третий механизм, который мы хотели проанализировать, — активность транспозонов. Обычно у рыб примерно 16–19% генома состоит из таких последовательностей ДНК, которые не играют

какой-то явной роли, но копируют сами себя и прыгают из одного места генома в другое. Они могут иметь значение для эволюции, если встроятся рядом с геном, кодирующим белок, и повлияют на его работу. В геноме цихлид мы нашли явные свидетельства того, что были периоды накопления таких перемещающихся генов: например, это происходило во время интенсивного видообразования в озере Виктория. Такие совпадения наводят на предположение, что транспозоны могли ускорить разделение видов.

Кроме того, мы изучили ту часть ДНК, которая обычно не претерпевает значительных изменений. Некоторые области генома не кодируют последовательность аминокислот в белках и, как правило, не меняются в течение длительного времени. Эти консервативные некодирующие элементы (CNE), вероятно, влияют на работу генов. Если бы данные участки ни на что не влияли, в них бы накапливались случайные мутации, как это и происходит в неконсервативных участках, которые поэтому и различаются у разных видов. У цихлид существует ряд некодирующих элементов, которые одинаковы не только у разных видов цихлид, но и у колюшек. Но когда мы внимательнее изучили ДНК цихлид, то обнаружили, что, хотя у разных видов консервативные элементы достаточно похожи, все-таки они меняются сильнее, чем можно было бы ожидать. Сравнив геномы цихлид, мы показали, что у отдельных групп примерно в 60% таких участков произошли значительные изменения. Удивительно высокий процент позволяет предположить, что могли измениться функции генов, с которыми связаны некодирующие элементы. Последующие эксперименты подтвердили догадку: ученые встраивали в геном рыбы данио

старые и новые варианты таких элементов, и оказалось, что новые варианты переключали работу связанных с ними генов иначе, чем старые. Это значит, что изменения в консервативных некодирующих элементах отразились и на работе генов у цихлид.

Есть еще одна разновидность консервативного генетического материала — микроРНК. Это небольшие молекулы, сообщающие генам, где и когда надо начать работать. Мы сильно удивились, обнаружив у цихлид 40 разновидностей таких молекул, не встречавшихся у других рыб. Потом мы изучили эмбрионы цихлид, чтобы посмотреть, в каких участках тела некоторые микроРНК регулируют активность генов. Оказалось, что они работают крайне специфическим образом, воздействуя на гены только в определенных тканях, например в области лицевого скелета. Судя по местам активности микроРНК, эти молекулы могут играть роль в формировании у цихлид приспособления к разным типам питания.

Нам еще далеко до понимания того, действительно ли все эти сотни молекул микроРНК в геноме цихлид участвовали в формировании новых признаков и каким образом они могли это делать, но похоже, что это так. Мы предполагаем, что, не давая гену случайно включиться в неподходящий момент, микроРНК могли способствовать возникновению большего разнообразия и упорядочивать совместную работу разных генов, помогая формировать немного другие зубы, челюсти иной формы, цветные узоры, меняя брачное поведение, в общем, создавать разные варианты как основу для адаптации и возникновения нового вида.

Новое — хорошо забытое старое

Как показали первые исследования генома цихлид, новые случайные мутации, вроде тех, что обнаружили в некодирующих элементах, и такие, в результате которых возникают новые микроРНК, в значительной степени позволяют объяснить необычную скорость эволюции этих рыб. Но мы подозреваем, что большую часть работы выполнили относительно старые изменения генома, в том числе возникшие благодаря транспозонам и удвоению генов. Такие изменения тихо прятались в геноме. А когда появились новые экологические возможности, например при освоении цихлидами Великих Африканских озер, старые изменения вдруг оказались полезными. Под давлением естественного отбора на основе тех старых изменений возникли новые виды, приспособленные к новой среде обитания.

Мы предполагаем, что это были именно старые изменения, поскольку нам не удалось найти большого количества четких генетических различий между разными видами цихлид. Крайне мало таких генов, которые были бы одинаковы у всех

представителей одного вида. В генофонде остаются старые варианты генов даже после того, как вид обособится. Часто у нового вида сохраняются не только предковые варианты ДНК, но и способность скрещиваться и образовывать гибриды с близкородственными видами. Такое скрещивание позволяет новым вариантам генов преодолевать межвидовые барьеры, и при этом сохраняется большое количество полезного генетического материала, которым при необходимости можно воспользоваться. Сохранение старых вариантов генов в сочетании со стремительным образованием новых видов у цихлид объясняет, почему одинаковые необычные признаки неоднократно возникают в разных группах. Мы предполагаем, что такие признаки, как асимметричность челюстей и «губы Анджелины Джоли», не возникают каждый раз независимо, а появляются за счет работы одних и тех же генов и регуляторов. Но эта гипотеза нуждается в проверке.

Эволюция цихлид не ограничивается описанными здесь механизмами. Конечно, экологические факторы сыграли решающую роль в том, как и с какой скоростью происходит видообразование в данной группе. Это подтверждается различиями в степени дивергенции цихлид в разных уголках земного шара: в Африке и Никарагуа большее количество видов образовалось в озерах со сложной средой (и, соответственно, большим разнообразием экологических ниш). Помимо приспособления к разным видам пищи появились также разные типы окраски, а у самок сформировались разные требования к окраске партнера.

Нам еще многое предстоит выяснить. Теперь, когда у нас есть полные геномы некоторых цихлид и мощные методы их анализа, работа пойдет намного быстрее. Я думаю, что механизмы стремительного видообразования у цихлид будут сейчас очень интенсивно изучаться. Скоро мы будем гораздо глубже понимать генетический язык, который объединяет всех живых существ. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

■ The Evolutionary Genomics of Cichlid Fishes: Explosive Speciation and Adaptation in the Postgenomic Era. Frederico Henning and Axel Meyer in *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, Vol. 15, pages 417–441; August 2014.

■ The Genomic Substrate for Adaptive Radiation in African Cichlid Fish. David Brawand et al. in *Nature*, Vol. 513, pages 375–381; September 18, 2014.

■ Про глоточные челюсти цихлид см. по адресу: ScientificAmerican.com/apr2015/cichlids

Всё, всем, всегда доступно



Номера журнала за все годы читайте
в любом удобном для вас формате

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



Пей

Очищенные сточные воды могут стать самым безопасным и экологически приемлемым источником питьевой воды — но лишь в том случае, если нам удастся преодолеть чувство брезгливости

Олив Хеффернан

Дна!

ОБ АВТОРЕ

Олив Хеффернан (Olive Heffernan) — журналист-фрилансер из Лондона, интересующаяся проблемами защиты окружающей среды, в прошлом главный редактор научного журнала *Nature Climate Change*.



Как-то раз в солнечный декабрьский день я посетил стерильный водоперерабатывающий завод, уютно расположившийся на холмах в северной части Сан-Диего. Рабочие площадки этой огромной химической лаборатории, укрытые под неприглядным навесом кремового цвета, были без стен и легко просматривались. Всюду, куда ни глянь, видны ряды серебристых труб и цистерн самых разных форм и размеров и огромные серые металлические чаны с какой-то таинственной жидкостью.

Когда экскурсия по этому небольшому предприятию подошла к концу, мне предложили определить на глаз, что содержится в трех стеклянных бутылках, наполненных прозрачной жидкостью. В первой бутылки жидкость была желтоватой, во второй — бесцветной, а в третьей сияла, как бриллиант прекрасной огранки.

Справиться с задачей не составило труда, и я без заминки ответила: содержимое первой бутылки — водопроводная вода, второй — очищенная вода, полученная на обычном водоочистительном предприятии из сточных вод, третьей — питьевая вода самой высокой степени очистки, произведенная на данном заводе. Как это ни удивительно, мне очень хотелось попробовать переработанную сточную воду, но я не могла бы заставить себя это сделать. «Нам не разрешается пить нашу воду или давать ее на пробу посетителям», — строго сказала сопровождавшая меня в экскурсии по заводу Марси Стейнер (Marsi A. Steiner), заместитель директора Министерства жилищно-коммунального хозяйства Сан-Диего и руководитель этого предприятия.

Но все вскоре может измениться. Шестилетний экспериментальный проект, реализованный на водоочистительном заводе *Advanced Water Purification Facility (AWPF)*, был завершен в 2013 г. и показал, что вода, полученная в результате переработки сточных вод, поступающих из жилых домов, чище,

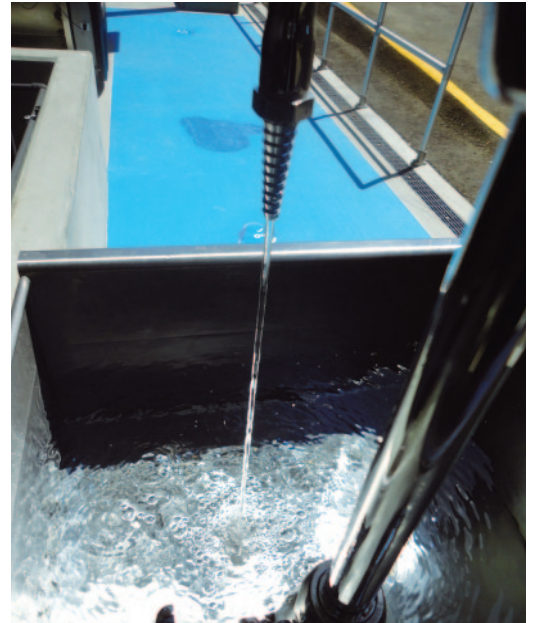
чем обычная питьевая, а ее производство обходится дешевле, чем при использовании альтернативных способов получения пресной воды, например методом перегонки. Если удастся получить разрешение на внедрение нового метода от государственных органов, то в снабжении питьевой водой Сан-Диего произойдут поистине революционные изменения.

До 90% потребляемой воды город получает из реки Колорадо на востоке и дельты рек Сакраменто и Сан-Хоакин на севере. Оба эти ресурса постепенно иссякают, и в ближайшие десять лет цена привозной воды увеличится вдвое. Перерабатывая сточные воды, Сан-Диего мог бы обеспечить до 40% своих ежедневных потребностей в пресной воде. Кроме того, прекратился бы сброс плохо очищенных городских нечистот в океан.

Но давайте посмотрим правде в глаза: не каждый захочет пить очищенные сточные воды. Именно фактор брезгливости не позволил в начале 1990-х гг. запустить подобный проект в Сан-Диего, а по итогам голосования в 2004 г. 63% местных

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Питьевой воды на Земле не хватает, и она становится все более дорогой. Возможно, проблему решит новый многоступенчатый процесс переработки сточных вод в чистую водопроводную воду.
- В Сан-Диего построен соответствующий последнему слову техники водоочистительный комплекс. Если будет разрешено направлять получаемую на нем воду напрямую в водопроводную сеть, то примеру Сан-Диего последуют другие города.
- Серьезной проблемой, однако, остается преодоление чувства брезгливости у потребителей. Их необходимо убедить, что получаемая в результате очистки вода чище той, которую они пьют сегодня.



С помощью обратного осмоса — процесса, протекающего в длинных серебристых трубах на современном водоочистительном заводе АWPF (вверху слева), — удаляются соли и микроскопические частицы из одного миллиона галлонов сточных вод в день. По степени чистоты получаемый продукт приближается к дистиллированной воде.

жителей высказались против идеи его возобновления. Та же участь постигла многочисленные подобные программы в Австралии — на них наложили вето общественные организации. Лоуренс Джонс (Laurence Jones), основатель австралийской организации «Граждане не желают пить нечистоты», задает вопрос, возможно ли очистить полностью сточные воды из больниц, промышленных предприятий, жилых домов и скотобоен. «Достоверно нам известно только одно: сточные воды загрязнены», — говорит он.

Однако отношение к этому вопросу жителей Сан-Диего коренным образом изменилось, когда усилилась засуха и выросли прибрежные жилые массивы. Теперь примерно три четверти населения высказываются за использование очищенной канализационной воды, но с одним условием: ее после очистки должны сливать обратно в водохранилище, а затем, перед подачей в водопроводную сеть, подвергать повторной переработке.

Этот процесс называется непрямым повторным использованием воды для питьевых целей. Руководство предприятия АWPF, которое сегодня служит экспериментальной площадкой для апробации этого метода, собирается сделать еще один шаг: повысить уровень очистки сточных вод до такой степени, чтобы получаемую воду можно было направлять сразу в водопроводную сеть — так называемое прямое повторное использование воды для питьевых целей. Однако многим этот последний этап представляется лишним. «Просто сливать очищенную сточную воду обратно в водохранилище кажется вполне достаточной

мерой», — говорит Меган Беренс (Megan Baehrens), генеральный директор *San Diego Coastkeeper*, некоммерческой организации, которая сыграла ключевую роль в агитации жителей города за принятие этого проекта.

Какой из альтернатив отдать предпочтение, решат власти Калифорнии. Строгость местного природоохранного законодательства общеизвестна, и если будет выбран метод прямого повторного использования воды, то, по мнению экспертов, он и станет применяться во всех других страдающих от засухи регионах. «Принимая решения, касающиеся окружающей среды, власти Калифорнии всегда мыслят глобально», — говорит международный эксперт по качеству воды Шейн Снайдер (Shane Snyder) из Аризонского университета. — Это относится и к выбору способа очистки сточных вод».

Чем чище, тем лучше

Сегодня к экспериментальному заводу в Сан-Диего приковано пристальное внимание. Он вырабатывает миллион галлонов воды в сутки, и, хотя вода очищается до состояния питьевой, ее используют только для полива полей гольф-клуба *Torrey Pines* и одного из кладбищ. Стейрер планирует увеличить объем производства в десять раз в ближайшие пять-десять лет. Предусматривается слив очищенной воды в местное водохранилище Сан-Висенте, откуда дезинфицированная смесь будет поступать в дома. Согласно альтернативному плану (если власти его одобряют), очищенная вода будет подаваться напрямую в водопроводную сеть.

ИЗ КАНАЛИЗАЦИИ — В ВОДОПРОВОД

Вода из умывальников, душей, туалетов жилых домов и промышленных предприятий может оказаться ценным ресурсом, а не просто сточными водами. Обычно в городах сточные воды направляют на водоочистные предприятия, где их частично очищают, а затем сливают в реки или океан (темно-синяя стрелка). Вместо этого переработанную воду можно подвергнуть дальнейшей очистке, чтобы она соответствовала требованиям, предъявляемым к питьевой воде, и отправить обратно в местное водохранилище, либо даже напрямую в водопроводную сеть (светло-синие линии).

Первый этап переработки сточных вод

На городском водоочистном заводе из сточных вод удаляют основную массу твердых частиц, растворенных химических веществ и микроорганизмов. На выходе получают осадок и переработанную воду, которую можно без вреда сливать в водоемы или использовать в сельском хозяйстве и промышленности. Альтернативный метод состоит в перекачивании переработанной воды на современное водоочистительное предприятие AWPf (на следующей стр.).

Завод по переработке сточных вод

Река

Обычная водоочистная станция для получения питьевой воды

Напрямую в водопроводную сеть

Альтернативный метод

Многие города получают питьевую воду из реки, подземных водоносных слоев или водохранилищ. Обычно ее фильтруют, опресняют и хлорируют на водоочистном заводе. Но запасы воды постепенно иссякают, и очистка сточных вод может дополнить традиционные методы получения питьевой воды или даже прийти им на смену

Подземный водоносный слой

Водохранилище

Непрямой метод повторного использования воды в питьевых целях; слив воды в водохранилище

Водопроводный кран или водохранилище?

Очищенную воду можно подавать напрямую в водопроводную сеть. Однако пока властные структуры разрешают лишь смешивать ее с водой из водохранилища или подземного водоносного слоя. Затем смесь отправляют на местную станцию для обычной очистки.

1 Фильтрация через мембраны

Мутная вода под давлением проходит по длинным трубкам, поры в которых отфильтровывают твердые частицы и микроорганизмы. В результате образуется солоноватый раствор.

2 Обратный осмос

Раствор под давлением пропускают сквозь мембрану с микроскопическими порами, которые задерживают соли, бактерии и вирусы; образуемый осадок выбрасывают.

3 Окисление ультрафиолетовым излучением

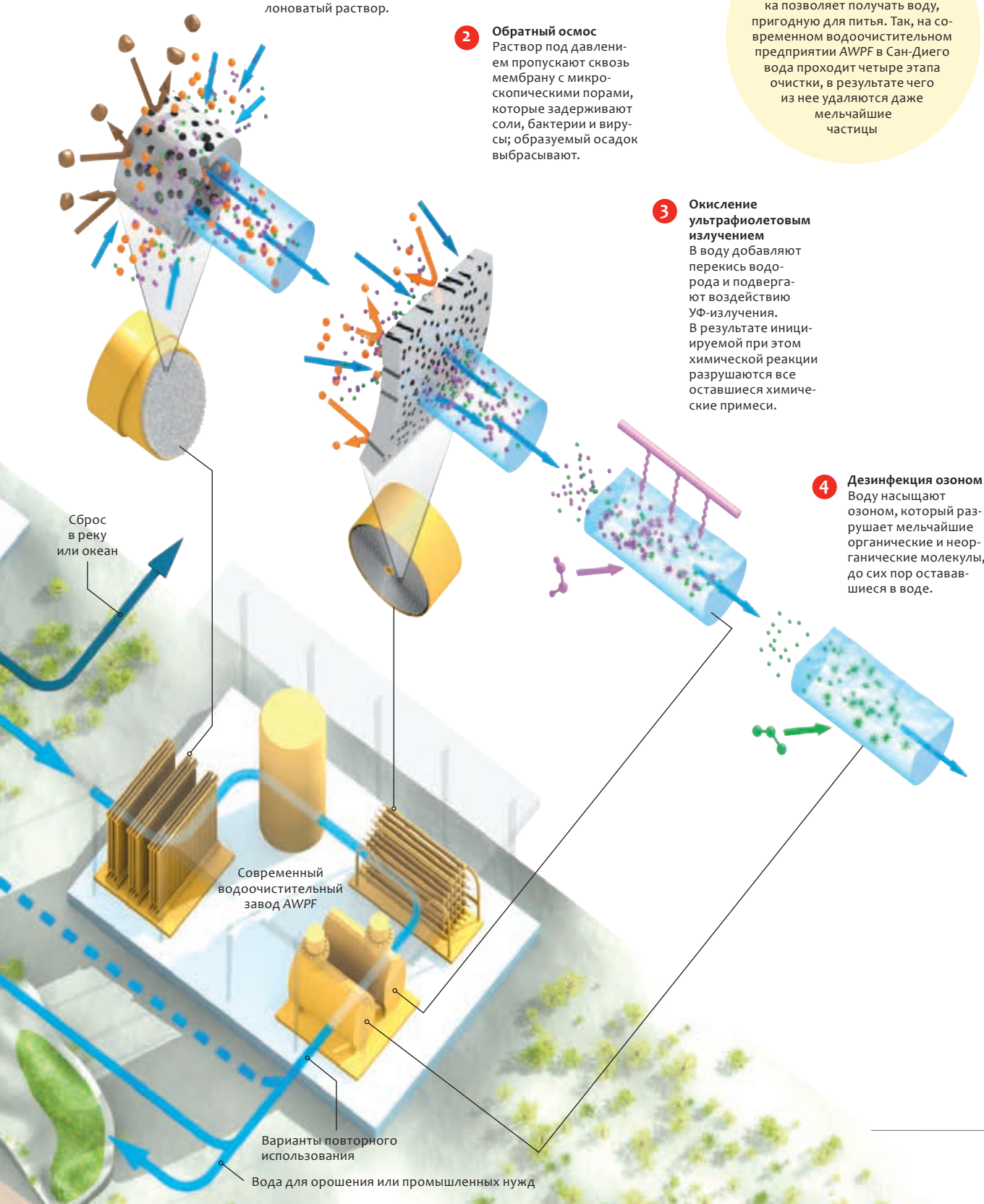
В воду добавляют перекись водорода и подвергают воздействию УФ-излучения. В результате иницируемой при этом химической реакции разрушаются все оставшиеся химические примеси.

4 Дезинфекция озоном

Воду насыщают озоном, который разрушает мельчайшие органические и неорганические молекулы, до сих пор оставшиеся в воде.

Питьевая вода по новой технологии

Дополнительная переработка позволяет получать воду, пригодную для питья. Так, на современном водоочистительном предприятии AWPФ в Сан-Диего вода проходит четыре этапа очистки, в результате чего из нее удаляются даже мельчайшие частицы



Однако согласия общественности и разрешения властей недостаточно: очищенная любым из этих методов вода должна обрести потребителей, которые преодолели бы чувство брезгливости. Другими словами, необходимо убедить людей, что вода на самом деле чистая. На экскурсиях по заводу побывало в общей сложности более 4 тыс. человек, среди них — матери семейств, члены ассоциации «Герлскауты США», врачи, официальные лица. Главный вопрос, который их интересовал, — насколько безопасен продукт, полученный из сточных вод. И это вовсе не праздное любопытство. От вирусов, бактерий и паразитов, которые попадают в организм человека с водой, прошедшей обычную очистку, ежегодно заболевают около 19 млн американцев, 900 из них умирают.

Единственный способ завоевать сердца и умы потребителей — это убедить их в том, что, как это ни удивительно, вода, получаемая на водоочистном заводе, чище, чем обычная водопроводная, и во время экскурсии посетители убеждаются, что это действительно так. Им объясняют, что, как правило, в реки или озера, из которых вода попадает к ним в водопровод, сливают воду с обычных водоочистных заводов, недостаточно чистую для питья. «Воды реки Миссисипи, когда они достигают Нового Орлеана, использованы уже пять раз», — поясняет Джордж Чобаноглус (George Tchobanoglous), международный эксперт по качеству воды из Калифорнийского университета в Дэвисе. Но потребителям хочется, чтобы вода, получаемая из сточных вод, была гораздо более высокого качества, чем обычная водопроводная.

По заверениям Стейрер, в Сан-Диего дело так и обстоит. «К тому же хранение воды для обычного завода в водохранилище или транспортных цистернах — далеко не лучший способ уберечь ее от загрязнения», — говорит Дэвид Седлак (David Sedlak), профессор Калифорнийского университета в Беркли. В водохранилища попадают продукты жизнедеятельности уток и других птиц и животных, а с грунтовыми водами — мышьяк. «Некоторые считают, что необходимо исключить эти риски, подавая воду напрямую в водопровод», — поясняет он.

Общепринятый в США процесс очистки питьевой воды состоит из двух или трех этапов, в ходе которых из нее удаляют твердые частицы, а затем хлорируют. Превращение зловонных нечистот в питьевую воду требует другой технологии. Предприятие *AWPF* получает сточные воды, предварительно очищенные на *North City Water Reclamation Plant*, и с помощью совершенных методов доводит их до высшей степени очистки.

Прежде всего вода проходит микрофильтрацию в трубах большого диаметра, напоминающих огромные цилиндрические упаковки макарон. Шейн Трасселл (Shane Trussell), директор

фирмы *Trussell Technology* и руководитель разработки проекта, рассказал мне, что каждая труба содержит 9 тыс. «макаронин», стенки которых пронизаны микроскопическими — в 300 раз тоньше человеческого волоса — порами. Из воды, прокачиваемой по трубкам под давлением, отфильтровываются вирусы, бактерии, простейшие одноклеточные и мельчайшие взвешенные твердые частицы. Затем воду под большим давлением прогоняют по трубкам с еще меньшими порами, где осуществляется обратный осмос. На этом этапе удаляются все оставшиеся растворенные частицы размером в 10 тыс. меньше самых крошечных бактерий, в том числе химикаты, вирусы и лекарственные вещества. На последнем этапе воду подвергают глубокому окислению, в ходе которого в огромных цистернах ее перемешивают с небольшим количеством высококонцентрированной перекиси водорода, а затем подвергают УФ-облучению. В результате разрушаются все оставшиеся примеси, даже если их содержание составляет одну частицу на триллион, что эквивалентно одной капле воды на сотни олимпийских плавательных бассейнов.

Из одного миллиона галлонов сточных вод, поступающих на завод ежедневно, 80% доходят до последней стадии обработки — степень чистоты конечного продукта такая же, как у бутилированной воды самых известных брендов. Если бы у завода имелось разрешение на непрямо повторное использование воды, ее отправляли бы в водохранилище в Сан-Висенте. А пока она течет по государственному фиолетовым трубопроводам, которые можно увидеть вдоль некоторых автотрасс; по ним в регионы поступает переработанная вода для ирригации и производственных нужд. Остальные 20% отправляют на местные очистные заводы с правом распоряжаться ими по собственному усмотрению. «Некоторые вещества обнаруживаются в очищенной воде постоянно: это кофеин, средства для мытья рук и искусственные подсластители, но их концентрация ничтожно мала и никакой опасности они не представляют», — говорит Трасселл. В конечном продукте содержится также очень мало солей — 20 частей на миллион; для сравнения: в воде, которой снабжаются города, эта цифра доходит до 660.

В апреле этого года Трасселл со своей группой инженеров добавили в производственный процесс еще один этап, чтобы получить абсолютно чистую воду. Он заключается в озонировании очищенной воды, что позволяет избавиться от оставшихся микробов на 99,9999%, и пропускании ее через особые фильтры, что еще более уменьшит содержание органических веществ. В случае успеха одного этого дополнительного этапа должно быть достаточно, чтобы убедить власти в отсутствии необходимости сливать воду в водохранилище. «Мы никогда не сможем утверждать, что удалили

из воды абсолютно все патогены, — говорит Трасселл. — Однако качество воды будет превосходить все существующие государственные и федеральные стандарты для питьевой воды; хотя на самом деле и до этого последнего дополнительного этапа переработанная очищенная вода уже удовлетворяла этим стандартам или превосходила их».

Психологическая подготовка

Бывает так, что одних только фактов, даже самых достоверных, недостаточно для того, чтобы переломить настроение общественности. Сторонникам прямого повторного использования воды необходимо преодолеть психологический барьер, а тем, кто предпочитает непрямой метод, — отказаться от представления, что выдерживание воды в водохранилище «отдаляет» сточные воды как ресурс от питьевой воды как конечного продукта: это чисто психологический довод.

Стоит также обратиться к опыту успешного применения непрямого метода повторного использования воды. В конце 1990-х гг. округ Ориндж в штате Калифорния, расположенный в 150 км к северу от Сан-Диего, столкнулся с проблемой нехватки воды, ростом цен на ввозимые товары и увеличением населения. К 2008 г. он уже мог похвастаться самым крупным в мире заводом по очистке сточных вод для получения питьевой воды. На нем ежедневно перерабатывается 70 млн галлонов сточных вод, и на долю конечного продукта приходится 20% потребностей округа в воде. Этим же способом получают водопроводную воду и в ряде других городов Калифорнии, правда, в меньших объемах. Предприятие AWP в Сан-Хосе, строительство которого обошлось в \$68 млн, рассчитано на поставку в Кремниевую долину до 8 млн галлонов очищенной воды в сутки. Она пригодна для питья, но пока ее будут использовать для полива фермерских угодий и полей для гольфа, а также в промышленных целях.

Вначале — так же как и в Сан-Диего — жители округа Ориндж были настроены скептически: 70% из них высказывались против строительства завода. Но благодаря очень эффективной пиар-компании ко времени ввода предприятия в строй противников у него почти не осталось. Рон Уайлдермат (Ron Wildermuth), который руководил этой компанией, поясняет, что сотрудники водохозяйственного окружного управления семь лет собирали данные о качестве воды, прежде чем обратиться к общественности. Затем они потратили еще десять лет на переговоры с самыми разными организациями — начиная от ассоциации *Rotary International* и кончая садовыми клубами, объясняя детали и варианты проекта и предлагая им самим попробовать воду.

Это послужило прелюдией к тем изменениям, которые сейчас происходят в Сан-Диего. «На примере

проекта округа Ориндж мы убедились, что непрямой метод повторного использования воды безопасен и вполне осуществим, — говорит Стейрер. — Иначе мы не могли бы даже обсуждать прямой метод». В Сан-Диего многое переняли из технологического опыта округа Ориндж. Актуальным остается также частичное использование прямого метода, поскольку в городе отсутствуют естественные бассейны для хранения очищенной воды. В такой ситуации находятся многие населенные пункты в США и других странах, так что Сан-Диего в данном случае играет роль испытательного полигона.

Чтобы представить, во что обходится нежелание своевременного обращения к общественности, рассмотрим события, развернувшиеся в Австралии. «Последствия были, мягко говоря, печальными, — вспоминает Стюарт Хан (Stuart Khan), эксперт в области водопользования из Университета Нового Южного Уэльса в Сиднее. — Власти сразу нескольких провинций запретили использовать для питьевых целей рекуперированную воду, а проекты повторного использования воды в таких городах, как Брисбен и Мельбурн, где нередки длительные засухи, были заблокированы под влиянием общественности». Это произошло в самое неподходящее время, и, по словам Хана, осознание пришло слишком поздно, когда ситуация стала катастрофической. «Люди чувствовали, что их принуждают согласиться с тем, что им не нравятся», — с горечью пояснял он.

«Диалог с общественностью нужно начинать заранее, — говорит Хан, добавляя, что, возможно, в Австралии сейчас самый подходящий момент, чтобы повторить попытку: водоснабжение более или менее налажено и есть некоторое время для обсуждения этого вопроса. Одно предприятие можно модернизировать прямо сейчас. Получивший одобрение в 2006 г., в самый разгар засухи, проект *Western Corridor Recycled Water Project* стоимостью \$2,3 млрд первоначально предназначался для снабжения переработанной водой промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий и для получения питьевой воды. Планировалось отправлять воду в водохранилище *Wivenhoe Dam*, основной резервуар для Брисбена и его окрестностей. Сейчас сточные воды, получаемые от шести водоочистных сооружений, отправляют на дальнейшую очистку на три завода по переработке воды.

Пока комплекс вводился в строй (это был период с 2008 по 2010 г.), засуха закончилась, и планы получать питьевую воду из сточных вод были отложены до тех пор, пока имеющиеся запасы воды не составили 40%. Сейчас переработанная вода используется только для нужд местной промышленности. Хан, как и многие другие эксперты водного хозяйства в Австралии, утверждает, что

перевод лишь одного из современных водоочистных заводов на прямой метод повторного использования позволит удовлетворять 35% потребностей Брисбена в воде.

Если правительство Квинсленда одобрит этот план, то завод станет крупнейшим в Южном полушарии, который работает по прямому методу. Возможно, на этот раз убедить власти и общественность будет проще, но, как и в округе Ориндж, кроме дополнительного времени на обсуждение вариантов потребуются достоверная информация.

Может быть, представителей властей воодушевят результаты исследований, опубликованные в прошлом году американским фондом *WaterReuse Research Foundation*. В ходе исследований группе жителей Калифорнии и Австралии, состоящей из людей разного пола, возраста и образования, продемонстрировали четыре метода получения водопроводной воды. Первый широко используется в настоящее время и предполагает для получения питьевой воды использование воды из реки, которая в свою очередь представляет собой место сброса переработанных сточных вод. Согласно второму, дезинфицированные сточные воды подвергаются очистке на заводе, затем перемешивают в резервуаре и отправляют для более глубокой очистки на другое предприятие, где получают питьевую воду. По третьему сценарию очищенную воду сливают обратно в реку, где она перемешивается с речной, а затем отправляют на переработку. По четвертому, четвертому — прямому методу повторного использования воды — очищенную воду сразу подают в дома, минуя водохранилище и дополнительные очистные сооружения. Участники опроса, независимо от пола и уровня образования, признали самым приемлемым прямой метод, а наиболее опасным — тот, что практикуется сейчас.

Нужда научит всему

Другой способ повлиять на общественное мнение состоит в том, чтобы убедить людей в полном отсутствии альтернативных источников воды. Именно это и сработало в Намибии, единственном месте в мире, где широко используют переработанную воду, полученную прямым методом. В далеком 1957 г. жестокая засуха за восемь недель истощила подземные источники самого большого города страны Виндхука. Столица, расположенная в 300 км от побережья Атлантического океана и почти в 850 км от не пересыхающей летом реки, осталась без воды. Уже в 1968 г. в городе был введен в действие завод, работающий по принципу прямого повторного использования воды. В наши дни 25% водопроводной воды в Виндхуке получают из переработанных сточных вод.

В данном случае проблем с общественным мнением было меньше, чем в Сан-Диего. «В те времена люди проявляли меньшую активность, — говорит

Петрюс дю Писани (Petrus du Pisany), курирующий работу завода. — Конечно, они были немного обеспокоены, но понимали, что другого выхода нет». Возвращаясь к началу 1960-х гг., он отмечает, что «тогда люди гораздо больше доверяли ученым и властям». Тем не менее власти информировали местных жителей и предлагали самим попробовать переработанную воду. «Теперь для нас пить такую воду — обычное дело», — утверждает дю Писани.

На сегодня завод в Намибии так и останется единственным в своем роде. Хотя на нем применяется многоуровневая система очистки, она не предусматривает процесса обратного осмоса, ключевого этапа в проекте Сан-Диего, округа Ориндж и других. Власти Намибии утверждают, что вода безопасна и соответствует стандартам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Расположенный в глубине материка, Виндхук не сбрасывал в водоемы больших количеств осадочного материала, который образуется при обратном осмосе. «А в 1960-е гг. в сточных водах присутствовало меньше химических веществ природного происхождения, — говорит дю Писани. — Больше всего нас тогда беспокоило содержание в воде мыла и пенообразующих агентов». Один из недостатков отсутствия процесса обратного осмоса заключается в том, что в питьевой воде остается очень много растворенных веществ и поэтому она имеет солоноватый привкус.

По словам дю Писани, для уменьшения солености воды к 2020 г. на водоочистительных заводах Виндхука, возможно, начнут применять обратный осмос. «Стандарты питьевой воды во всем мире, даже в Намибии, быстро меняются», — добавляет он, указывая на то, что применяемые в Намибии методы уже не в полной мере соответствуют современным требованиям. Большие объемы соленой воды и то количество энергии, которое необходимо для осуществления обратного осмоса, могут привести к тому, что прямой метод повторного использования воды окажется не по карману другим городам страны. К счастью, новые технологии очистки были усовершенствованы, что позволило уменьшить содержание соли и других примесей в перерабатываемой воде.

Когда засуха охватила США, некоторые города и населенные пункты оказались в таком же бедственном положении, как и Виндхук. Год за годом в Биг-Спринге, штат Техас, выпадает минимальное количество осадков. В маленький расположенный в горах городок Клаудкрофт, штат Нью-Мексико, население которого на выходные и праздники увеличивается вдвое, воду доставляют издалека. В прошлом году в обоих городах для пополнения запасов питьевой воды начали очищать сточные воды. Ни в том ни в другом нет подходящего водохранилища или водоносного слоя для долгого хранения очищенной воды.

В результате в Клаудкрофте очищенную воду перемешивают с водой из местного источника или скважины и временно хранят в резервуаре, затем подвергают повторной очистке и направляют в водопроводную сеть. В Биг-Спринге переработанные сточные воды перемешивают с водой из регионального водохранилища, после чего смесь очищают. Эти два способа трудно однозначно классифицировать; кто-то относит их к прямому методу повторного использования воды, кто-то — к непрямому.

Вкус победы

Пока Сан-Диего не находится в таком отчаянном положении, какое предсказали ему некоторые эксперты, предлагая альтернативные решения. Тем не менее «фанат» прямого метода повторного использования воды, авторитет в вопросах водопользования и ректор Тихоокеанского института Питер Глейк (Peter Gleick) считает, что в Калифорнии его удастся внедрить лишь через несколько десятилетий. «Сегодня у нас нет ощущения, что использовать очищенные сточные воды крайне необходимо», — говорит он. И добавляет, что вместо этого стоит заняться водосбережением — как в промышленности, так (причем в большей степени) и в сельском хозяйстве, на долю которого приходится 80% используемой в штате воды. Но Беренс считает, что в Сан-Диего уже очень бережливо относятся к расходуемому водному ресурсу: «У нас принято подолгу стоять под душем, мы поливаем поля только рано утром или вечером, когда не очень жарко». «Специфика вопроса экономного расходования воды такова, — добавляет Стейрер, — что она имеет в какой-то мере добровольный характер, поэтому здесь сложно что-либо планировать».

У технологии очистки сточных вод хорошие перспективы. В Сингапуре первый водоочистный завод в рамках программы *NEWater* введен в строй в 2000 г. Сейчас там работают уже четыре таких предприятия, которые производят самую чистую на планете воду, получаемую из сточных вод. Примерно 5% этой воды используются для питья, но ее вначале смешивают с водой из местных водохранилищ. Остальная часть идет на нужды промышленности. Более 40% воды Сингапур импортирует из Малайзии; если взаимоотношения между странами ухудшатся, то недостаток водоснабжения можно будет устранить благодаря поставкам с предприятий *NEWater*.

Не будет ли вода, получаемая путем очистки сточных вод, слишком дорогой? Опыт работы современных водоочистных систем в Сан-Диего показывает, что с применением непрямого метода повторного использования воды на заводе, который перерабатывает около 15 млн галлонов сточных вод в сутки, производство одного акрофута

чистой воды обойдется в \$2 тыс. (1 акрофут = 1233,482 м³), что близко к стоимости воды, поставляемой в город в настоящее время. Стоимость одного акрофута воды, получаемой на предприятии *AWPF* с применением прямого метода, составляет \$700–1200. Проектировщики строящегося неподалеку от курортного города Карлсбада в Калифорнии опреснительного завода «Посейдон» предполагают, что акрофут воды будет стоить от \$1876 до \$2097, а по оценкам независимых экспертов опреснение акрофута воды обойдется в сумму от \$2 тыс. до \$3 тыс. или даже выше.

Независимо от того, какой метод очистки — прямой или непрямой — будет применяться на заводе *AWPF* в Сан-Диего, для города это выход из тупика: он получит надежный местный источник воды, уменьшит сброс нечистот в океан и избежит миллиардных затрат на модернизацию завода по переработке сточных вод. Но пока частично очищенная вода будет по-прежнему поступать на промышленные предприятия по проложенным вдоль дорог фиолетовым трубам, на которых четко обозначено: «Не для питья».

Возможно, опыт Сан-Диего изменит отношение населения всего земного шара к использованию сточных вод. «Вода — это ресурс многократного использования, а не источник нечистот, — говорит Чобаноглус. — Теперь муниципалитеты станут чем-то вроде частных предпринимателей и постараются извлечь из своей деятельности максимальную прибыль». Возможно, понадобится еще десять лет, чтобы в Калифорнии было узаконено применение прямого метода повторного использования воды, и тогда в водопроводную сеть Сан-Диего будет напрямую поступать продукт высшей степени очистки. «Нам самим эта вода нравится, и хотелось бы, чтобы людям она тоже пришлась по вкусу», — говорит Стейрер. ■

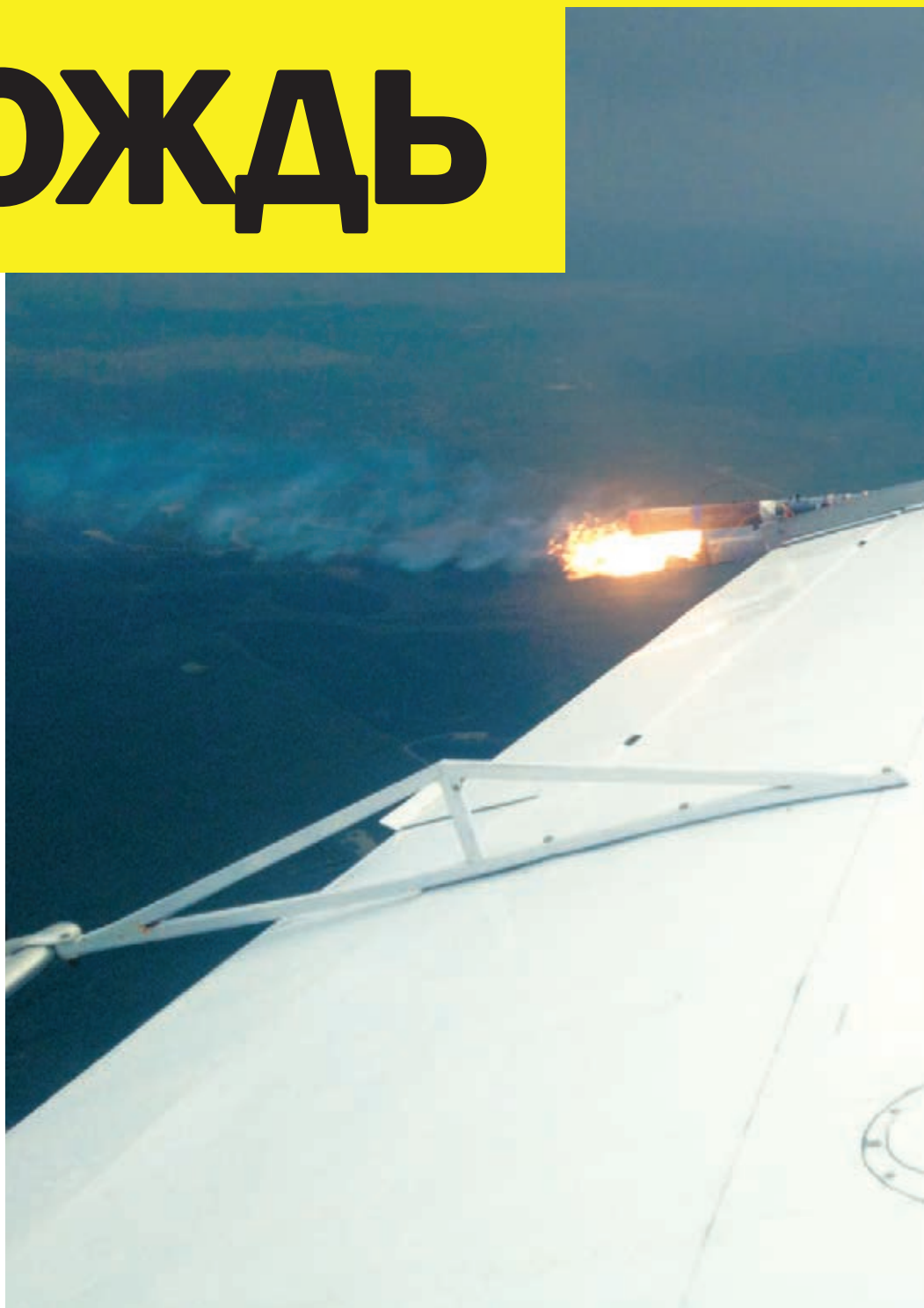
Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ


- Direct Potable Reuse: A Path Forward. George Tchobanoglous et al. WaterReuse Research Foundation and WaterReuse California, 2011. Доступно в формате PDF по адресу: <http://aim.prepared-fp7.eu/viewer/doc.aspx?id=3>
- Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply through Reuse of Municipal Wastewater. National Research Council et al. National Academies Press, 2012. www.nap.edu/catalog.php?record_id=13303
- Potable Reuse: Developing a New Source of Water for San Diego. Marsi A. Steirer and Danielle Thorsen in Journal—American Water Works Association, Vol. 105, No. 9, pages 64–69; September 2013.
- Сайт *AWPF*: www.sandiego.gov/water/waterreuse/demo
- Подробнее о методах очистки и способах получения питьевой воды см. по адресу: ScientificAmerican.com/jul2014/Heffernan

Вызываем ДОЖДЬ

Дэн Баум



По всему миру государственные службы и фермеры ежегодно тратят миллионы на управление погодой; передовая наука находится на пути к решению этого вопроса



Специалисты по засеву облаков из Ассоциации западного Техаса по искусственному воздействию на погоду обстреливают облака йодидом серебра в попытках заставить их пролиться дождем на иссушенные поля внизу

ОБ АВТОРЕ

Дэн Баум (Dan Baum) — в прошлом штатный сотрудник *The New Yorker*, писал статьи из всех частей света; автор вышедшей недавно книги «Парни с пушками: дневник путешествия» (*Gun Guys: A Road Trip*) об американской культуре оружия.



Пышные облака содержат невероятное количество воды. Объем даже небольшого облака может достигать 750 куб. км, и если принять, что на один кубометр приходится полграмма воды, то легкие клубы атмосферной дымки покажутся летающими озерами.

Теперь вообразите себя фермером, наблюдающим, как облака плывут над изнывающими от засухи полями, пронося мимо более чем достаточное количество влаги для спасения вашего урожая, и, пролив несколько долгожданных капель, исчезают за горизонтом. Это вынуждает людей затрачивать каждый год миллионы долларов на попытки управления дождем.

В США стремление выжать как можно больше влаги из небес особенно сильно растет в этот последний, четвертый год жестокой засухи. На большей части Великих равнин и территорий юго-запада страны с 2010 г. дождевые осадки сократились приблизительно на одну-две трети, причем цены на кукурузу, пшеницу и сою подскочили на четверть. Калифорния, основной поставщик фруктов и овощей в стране, должна к тому же подниматься из трехлетней засухи, которая наполовину опустошила водоемы и оставила угрожающе низким снежный покров. В феврале Национальная метеорологическая служба США определила, что у страны очень

мало шансов поправить дела в ближайшее время. Из-за недостатка влаги фермеры выкорчевали свои посадки миндальных деревьев, ведь даже запасы питьевой воды находились под угрозой исчезновения.

Во всем мире миллионы людей проживают в тяжелейших засушливых условиях, причем 168 стран в той или иной степени подвержены опустыниванию. Недавно Австралия в течение девяти лет испытывала засуху, которую прозвали Великая сушь. В Турции наблюдалась



самая сильная засуха за десятилетие. Бразилия, Китай, страны Среднего Востока и Южной Азии недавно столкнулись с катастрофической нехваткой запасов воды. И если Всемирная метеорологическая организация ООН права, то изменение климата неизбежно приведет к ухудшению ситуации.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Засев облаков — затея, которая достойна многомиллионных вложений, но очень долго было практически невозможно провести эксперимент в контролируемых условиях, чтобы подтвердить эффективность этого метода.
- Данные, полученные с новых спутников и радиолокационных установок, а также модели, сделанные на более мощных компьютерах, с надлежащей достоверностью дали ход практике засева облаков йодистым серебром.
- Тем временем сейчас, когда человечество приспосабливается к условиям глобального потепления, продолжают появляться новые и весьма сомнительные формы управления погодными условиями — такие как, например, ионизация атмосферы.



Погибшие хлопковые поля можно в изобилии наблюдать в западной части Техаса, где сумма дождевых осадков в последнее время сократилась до 76 мм

Нью-Йорк, изобрел в 1946 г. соответствующую технологию (вскоре после того, как его младший брат Курт был освобожден из немецкого лагеря для военнопленных, который он потом увековечил в своем романе «Бойня номер пять»).

Химическое соединение, которое использовал Воннегут для посева облаков, было йодистое серебро, структура молекулы которого походит на таковую кристаллов льда. В холодном облаке оно провоцирует воду прилипнуть к нему. Йодистое серебро работает не только в теории, но и на практике: летчики рассказывают, что они наблюдают изменение облаков при попадании в них этого химического реактива. Но вопрос, который больше столетия висит

Хотя только 0,04% мировых запасов пресной воды курсируют в атмосфере одновременно, но это та вода, которую мы можем раздобыть, если повезет, если мы будем находчивы.

Несколько мечтателей экспериментируют с ионной бомбардировкой атмосферы, чтобы выжать из нее побольше влаги, но основной способ увеличения осадков — насыщение, или засев облаков химическими веществами. В 2012 г. десятки операторов провели в масштабах всей страны засев облаков в девяти штатах над территорией более 215 тыс. кв. км. Китайское правительство со своей стороны создало целую «погодную армию» из 48 тыс. чел., вооружив ее 50 самолетами, 7 тыс. реактивных пусковых установок и 7 тыс. пушек, чтобы отобрать у небес больше дождя.

Принцип устройства прост. Облака, способные выдать дождь, содержат капли воды микронных размеров, чья температура ниже точки замерзания, при этом они еще не превратились в лед, поскольку им не хватает ядер, вокруг которых они смогли бы сформироваться, — скажем, пылинки точно нужного размера. Эти капельки слишком легки, чтобы противостоять восходящим воздушным потокам, удерживающим их наверху. Тем не менее если дать им подходящие ядрышки, они объединятся в крупинки льда. Когда они будут падать сквозь теплые слои атмосферы, они станут превращаться в питающий дождь. Бернард Воннегут (Bernard Vonnegut), метеоролог, специалист по атмосфере из научно-исследовательской лаборатории *General Electric* в Скенектади, штат

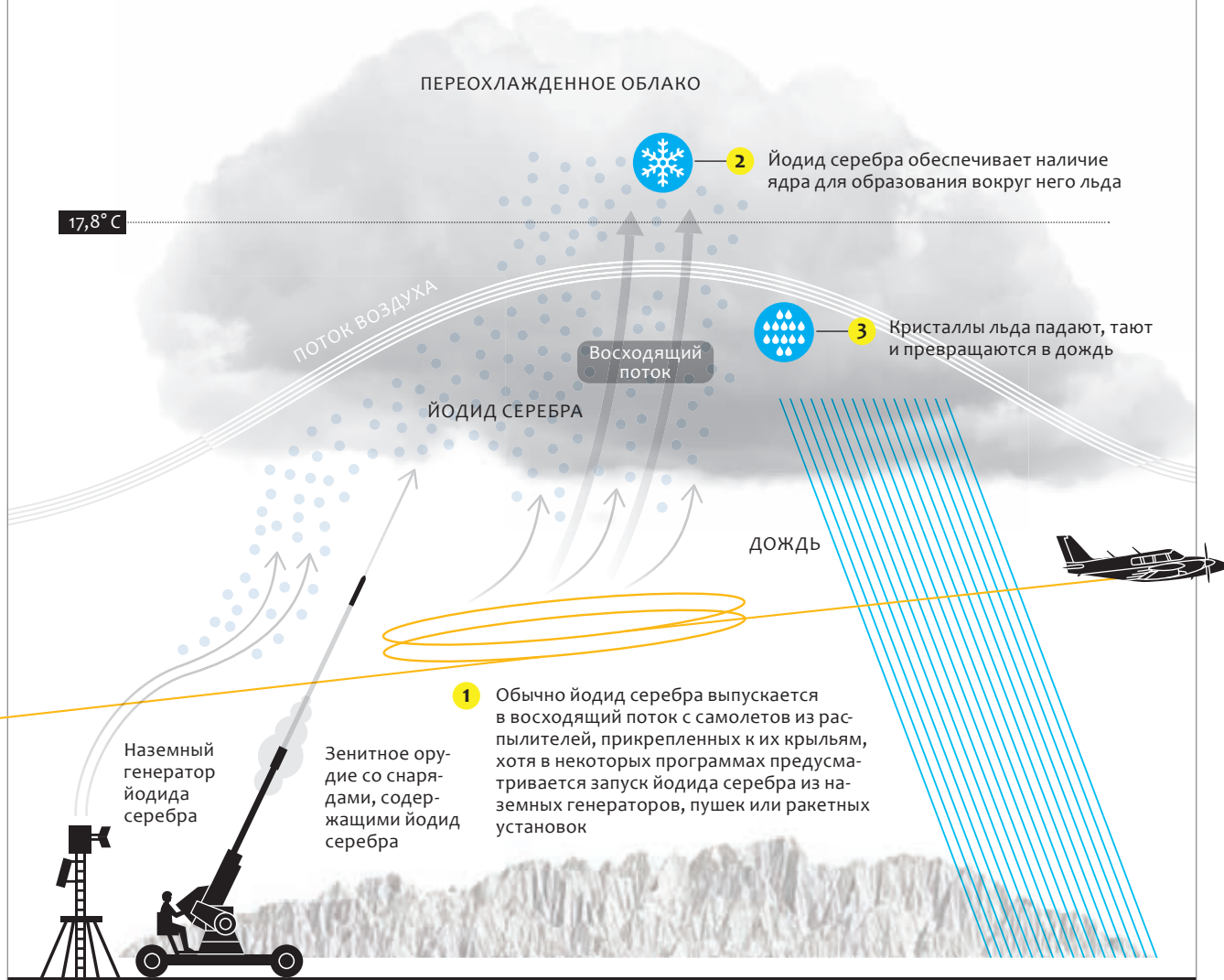
над засеваем облаков, состоит в том, будут ли эти засеянные облака выдавать где-либо дождь. Невозможно провести четко контролируемый эксперимент. Ведь мы говорим об облаках — эталоне эфемерности, и хотя сегодня масса ученых называют себя знатоками «физики облаков», но каждое облако неповторимо, как снежинка, и изменчиво, как пламя.

То, что мы знаем об облаках, ничтожно по сравнению с тем, чего мы не знаем. Предугадать, как они будут себя вести, достаточно трудно. Определить с достоверностью, что они могли бы сделать при различных обстоятельствах, невозможно. Еще в 2003 г. Национальный научно-исследовательский совет был настроен скептически. В реферате одного из его отчетов говорится: «Есть много доказательств, что засев облаков химическими соединениями может изменить их рост, формирование и осадки. Однако ученые все еще не вправе утверждать, что эти конструктивные изменения приводят к контролируемому, неоднократному изменению в выпадении дождей, града и снега на землю».

Тем не менее десять лет спустя после этого отчета Национального научно-исследовательского совета армада новых метеорологических спутников NASA, усовершенствование радиолокационных установок и экспоненциальный рост компьютерных технологий позволяют ученым сказать с изрядной долей уверенности, причем впервые, что при благоприятных условиях и в ограниченной степени засев облаков работает.

КАК СДЕЛАТЬ ДОЖДЬ

Облака продуцируют дождь, когда крошечные капельки переохлажденной воды сталкиваются с частичками пыли точно нужного размера, образуя ледяные крупиты, которые падают на землю и тают по пути. Наиболее широко практикуемый способ дождевого осадкообразования заключается во впрыскивании в облака частичек йодистого серебра, вокруг которых могут образоваться кристаллы льда, однако все время появляются новые, весьма сомнительные проекты создания дождей.



1 Обычно йодид серебра выпускается в восходящий поток с самолетов из распылителей, прикрепленных к их крыльям, хотя в некоторых программах предусматривается запуск йодида серебра из наземных генераторов, пушек или ракетных установок

Новый подход: генерирование ионов

Наэлектризованные башенные конструкции посылают в небо ионизированные частицы для образования капель воды. Никто из ученых, давших интервью для данной статьи, не выразил большой уверенности в этом методе, тем не менее проекты ионной генерации продвигаются в Абу-Даби и других местах.

1 Башенные конструкции производят отрицательно заряженные частицы



2 Заряженные частицы присоединяются к ядрам конденсации, помогая образованию капель воды

Отрицательные ионы

Система ионизаторов

Сбор доказательств

«Вода — это эмоциональная категория. Засуха тоже относится к эмоциям», — сказал Релоф Бройнтъес (Roelof Bruintjes), когда я встретился с ним в его не слишком заставленной мебели берлоге в одном из строгих современных зданий, где расположился Национальный центр атмосферных исследований (НЦАИ). Бройнтъес, физик, специалист по облакам родом из Голландии, вежлив и изыскан, десятилетиями изучает преобразование погоды и только сейчас становится уверенным в ее практической пользе. «Фермеры смотрят вверх и видят, что вся эта вода проплывает над их головами, а их поля высыхают, но они хотят, чтобы государство дало им эту воду».

Трудно назвать какую-либо другую область науки, где фундаментальные технологии не менялись 70 лет. Большинство операторов, засевающих облака, все еще применяют просто-напросто йодид серебра. Изменилась, особенно в последние десять лет, лишь методика оценки эффективности. В 80-х гг. XX в. появился доплеровский радиолокатор, в частности конструкция, называемая *88D*, которая позволила ученым впервые увидеть скопление воды внутри облака. Это та самая установка, которая дает зеленые блики на синоптических картах, наблюдаемые на экранах телевизоров. «Но даже при этом возможна случайная ошибка, — поясняет Бройнтъес. — Десять градин могут выдать себя за тысячу капель дождя». По его словам, большие успехи были достигнуты с 2000 г. благодаря радару с двойной поляризацией, который посылает волновые сигналы по обеим осям — *X* и *Y* — и сканирует облако с потрясающей точностью. «Благодаря радарам с двойной поляризацией можно определить, будет дождь или град, рассмотреть формы и размеры дождевых капель. Это правда замечательно», — заключает Бройнтъес.

Наряду с улучшенными данными появились и более мощные компьютеры для анализа этих данных и, что еще более важно, — возможность создания виртуальных моделей для отслеживания, что бы произошло с облаками, не будь они засеяны. В октябре 2012 г. в НЦАИ заработал сверхмощный компьютер *Yellowstone*, исполин, способный выполнять 1,5 квадриллиона вычислений в секунду, что в 180 раз быстрее, чем это делает суперкомпьютер *Bluesky*, торжественно введенный в работу НЦАИ в 2002 г. Новый компьютер дает возможность Бройнтъесу и его коллегам объединить полученные Национальной метеослужбой и всеми новыми спутниками *NASA* данные, которые представляют собой еще не отшлифованный материал, и провести более тонкое численное моделирование облака. С помощью этого компьютера можно покрыть площадь величиной около 40 кв. км (38,85) координатной сетью с шагом около 100 м (91,44) и раздробить

шесть часов обработки данных на рабочие периоды меньше секунды. Такой уровень детализации программы обеспечивает то, что бельгиец по происхождению Барт Гиртс (Bart Geerts), метеоролог, профессор Вайомингского университета назвал «лучшим из когда-либо сделанных представлений атмосферы». Он отметил, что «компьютер достаточно мощен, чтобы дать возможность ученым создать виртуальное небо. Существует множество совершенных моделей, моделей альтернатив. Вы создаете облако, вносите виртуальное ядро из йодида серебра и смотрите, что получится».

Только в прошлом году или около того Бройнтъес был готов говорить столь декларативно. «Существуют веские доказательства, — заявляет он, — что при определенных условиях мы сможем увеличить дождевые осадки на 10–15%».

Истинно верующие

Среди самых завзятых приверженцев засева облаков выступают жители запада Техаса, что совсем не удивительно, если учитывать постоянно наблюдаемые засухи, в условиях которых они трудятся, и гигантские пожары, проносящиеся по равнинным прериям лето за летом. Ассоциации западного Техаса по искусственному воздействию на погоду со времени ее основания в 1997 г. вмещают увеличение дождевых осадков на территории 26 тыс. кв. км, что расположена на юго-западе Техаса в зоне, получившей прошлым летом только половину нормы осадков. Это не научные исследования, которые проводят Бройнтъес и Гиртс, здесь платят за то, чтобы спустить воду на землю. Город Сан-Анджело и экономно использующие воду районы семи округов вкладывают вместе \$ 359 тыс. в год в работу ассоциации, полагающейся частично на уверенность и частично на данные, чтобы выжать еще немного влаги из огромного неподатливого неба. Другими словами, земледельцам и скотоводам из этих районов Техаса акр земли стоит 4,4 цента в год, чтобы получить шанс сделать поля чуть-чуть влажнее.

Фермеры из засушливых районов мечтают, чтобы дождь пролился прямо на их угодья. Мелиораторы и администрации городов желают пополнить водоносные горизонты под уплотненными слоями почвы. На собранные деньги работают неполный рабочий день шесть отставных военных летчиков с оплатой \$75 в час, используются четыре однодвигательных самолета и одна служебная комната в конце залитого солнцем аэропорта Сан-Анджело. Они также нанимают на полный рабочий день Джонатана Дженнинга (Jonathan Jennings), крепкого коротко стриженного 28-летнего метеоролога, который в то время, когда университеты потоком выпускают специалистов его профиля, рад получить работу.

Мы застали его в запасном невзрачном офисе, где он следит за монитором компьютера, который поставляет 24 часа в сутки данные из программы НЦАИ «Анализ опознания и отслеживания гроз и сверхсрочный прогноз погоды» (*Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting, TITAN*). На мой взгляд, нигде в небе нет облаков, но Дженнингса приводят в восторг несколько небольших серых теней радара, которые он наблюдает над округом Крокетт, для него они представляют интерес. Рядом с офисом стоит один из самолетов Дженнингса, обычный *Piper Comanche*, четырехместный низкоплан, излюбленный среди операторов, засеивающих облака, поскольку его корпус достаточно крепок, чтобы выстоять в полете вблизи грозы. Законцовки и задние кромки крыльев этого легкого самолета отягчены белыми цилиндрическими баллонами с красным верхом, распылителями йодистого серебра в облаках, каждый имеет приблизительно 30,5 см в длину и 2,5 см в диаметре. Все они наполнены гильсонитом, представляющим собой разновидность легковоспламеняющегося битума, смешанного с 5,2 г йодата серебра. Когда летчик зажигает один из баллонов, тот загорается жарко и ярко, преобразуя йодат и оставляя струю дыма, содержащую йодид.

Был жаркий спокойный день, время от времени дуновения ветра поднимали пыль на летной полосе. Я сказал Дженнингсу, что слегка разочарован. Я предвкушал увидеть сцены из «Битвы за Англию», когда летчики сидят на корточках в дежурной комнате, попивая кофе в ожидании срочного вылета, а огромный черный грозовой фронт играет роль немецких бомбардировщиков. Дженнингс засмеялся: «Вы недалеко от истины, хотя мы больше не заставляем летчиков ждать». Каждое утро около семи часов Дженнингс отсылает по электронной почте членам своей команды и летчикам прогноз погоды с оценкой вероятности того, что он называет «операции». Затем он разъезжает по делам и идет в тренажерный зал, все это время следя за синоптическими картами на своем смартфоне. Обычно около двух часов пополудни он уже знает, будут ли проводиться операции по засеиванию, и передает летчикам извещение по телефону. «И когда время пошло, от звонка до начала операции у них есть 30 минут».

Как только летчики поднялись в воздух, обстановка быстро меняется, Дженнингс следит за происходящим на экране своего компьютера и управляет воздушным движением. «Я прежде всего должен отправить пилотов в подходящую часть грозы, представляющую собой так называемый выпуск, канал, по которому поднимается внутри бури теплый влажный воздух, играющий роль топлива. Большинство моих пилотов достаточно опытные и знают, где этот выпуск», — поясняет

Дженнингс. Иногда это можно видеть: похожие на призраки завитки влажного воздуха, порывисто устремляющиеся в небо. Летчики нацеливаются на этот поток, т.к. они не могут влетать в облако. Ветровые сдвиги внутри могут разнести самолет на кусочки, и правила Федерального управления гражданской авиации США запрещают залетать за грозовой фронт. Пилоты больше не летают над облаками, поскольку они усвоили три недостатка таких действий: требуется много топлива, чтобы подняться на подобную высоту; там свирепая болтанка; химические соединения не попадают в самую эффективную зону подачи — выпуск.

Вместо этого пилоты Дженнингса вертятся вокруг этого теплого местечка и запаливают столько баллонов-распылителей, сколько, по его мнению, необходимо в данный момент, выпуская дым с серебром в восходящий поток облака. Иногда достаточно одного выстрела, иногда нужно 50. За 10–15 минут облако получает серебряную подкладку. Дженнингс поясняет, что «переохлажденная вода находится на 600 м и более внутри облака». Вертикальный поток воздуха выносит йодид серебра наверх точно в цель, вызывая первое образование кристаллов льда. «Раз вы запустили реакцию, то облако естественным образом начнет создавать ледяные кристаллы. Они начнут ударяться друг об друга и трескаться». Каждый раз, когда кристалл растрескивается, он может захватить больше влаги, чтобы наконец отправиться к земле.

Дженнингс проводит опытные испытания с новыми реагентами, он использует соль — хлористый кальций вместо йодистого серебра. Соль не вызывает нареканий со стороны экологов, она дешевле, чем йодид серебра (его цена привязана к добыче серебра и достигла астрономических размеров), и применяется в более теплых облаках при меньшей относительной влажности. Кроме того, по мнению Дженнингса, некоторые облака, кажется, лучше реагируют с хлоридом кальция. Несколько раз его летчики применяли одновременно оба вещества. Когда это происходило, то дождя проливалось столько, «как будто, — говорит Дженнингс, — низ облака взрезали ножом». Для него в этом нет ничего загадочного, он не должен полагаться на долгосрочные измерения и сравнения с тем, что могло бы произойти без помощи его пилотов, он видит, как незамедлительно отвечают облака на их работу.

«Посмотрите на это», — предлагает Дженнингс и начинает игру с показаниями радара, введенными в его компьютер от 28 апреля. Мы наблюдали, как крошечные точки, желтые и розовые, мерцали, образуя несколько серых пятен. Дженнингс поясняет: «Когда я увидел это, то послал авиацию». Мы медленно последовали по маршрутам самолетов через весь экран. Через минуты цели были достигнуты, желтые и розовые точки чудовищно

раздулись, выстроившись в длинную расплывчатую линию. Дженнингс поясняет, что засев облаков способствует не только образованию капель, но также и поднятию облаков в высокие вертикальные структуры, где облака становятся мощнее, что лучше для выпадения дождя. «Мы создаем линию шквалов среднего масштаба, область очень сильной конвергенции, — отмечает он. — Это дает возможность большего поднятия, что, в свою очередь, вызовет больше дождя». Я ответил, что, безусловно, такое может случиться и без засева облаков. Но он парировал: «В Соноре не обещали дождя в тот вечер, но вместо этого выпало 38 мм осадков».

В Вейле, горнолыжном курорте в штате Колорадо, облаков стало теперь больше после их засева с 1975 г. Частная фирма-подрядчик *Western Weather Consultants* запустила 22 генератора с йодидом серебра на горных склонах в радиусе 48 км вокруг курорта. В подходящих условиях в генераторах, которые значительно дешевле сами по себе и в работе, чем самолеты, поджигается ацетон с йодидом серебра. Дым поднимется к облакам, и, по мнению компании, на склоны в зоне воздействия выпадает на 35% больше снега, чем в соседней местности. «В Вейле подсчитали, что стоимость целевого засева облаков составляет около 5% всей стоимости снега», — так на мой запрос ответил по телефону Ларри Хьермстад (Larry Hjermsstad), представитель *Western Weather Consultants*. Помимо генераторов в Вейле компания владеет еще 50 генераторами, действующими в горнолыжных районах, административных центрах и штатах, расположенных вдоль главного водораздела бассейна реки Колорадо. Как добавляет Хьермстад, засуха, начавшаяся в этом регионе три года назад, подогрела интерес к засеву облаков, учитывая же изменения климата и рост населения на западе страны, он и сотрудники его фирмы принимают такой подход в качестве долгосрочного решения незатухающей проблемы.

Двусмысленное прошлое

Репутация засева облаков страдала на протяжении всех лет из-за дельцов, пытавшихся выжать дождь из облаков и деньги из глупцов. Как Джеймс Роджер Флеминг (James Rodger Fleming) из Колби-колледжа подробно излагает в своей толстой и забавной книге «Исправление небес: пестрые истории о контроле погоды и климата» (*Fixing the Sky: The Checkered History of Weather and Climate Control*, 2010), в литературе полно примеров исправления погоды начиная с Библии и далее у Жюль Верна и, конечно, у Курта Воннегута. Серьезные научно обоснованные попытки сотворить дождь восходят к середине XIX в., когда люди пробовали все, от пушечных выстрелов до лесных пожаров, чтобы побудить облака пролиться дождем. Не далее как в 1894 г. жители Небраски пытались покончить

с ужасной засухой, подпалив восемь бочек пороха на ярмарочной площади Гастингса. Типичная научная двусмысленность: если брызнул мелкий дождь, этого недостаточно для хорошего дела, но вполне достаточно, чтобы ободрить людей и побудить их продолжить попытки.

Государственные научно-исследовательские учреждения всегда были истинными поборниками этого дела. 40 лет Национальный научный фонд и Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA) щедро финансировали опытные работы по преобразованию погоды даже перед лицом поражений. Например, в 1962 г. правительство запустило проект «Яростная буря» (*Stormfury*) по засеиванию ураганов с целью снижения их интенсивности. Годом позже ураган Флора четвертой категории принес смерть тысячам людей на Кубе, и Фидель Кастро, все еще испытывавший жгучую боль от ракетного кризиса предыдущих лет, обвинил США в манипулировании ураганом. Но правительство продолжало усердно работать с «Яростной бурей» еще два десятилетия, пока не призналось, что засев не влияет на ураганы.

В 60-х гг. XX столетия скопилось достаточно доказательств в пользу утверждения, что, вероятно, засев облаков увеличивает дождевые осадки. США использовали это обстоятельство в качестве оружия во вьетнамской войне. С 1967 по 1972 г. военно-воздушные силы засевали облака над Ласосом в надежде замедлить продвижение людей, оружия и техники Северного Вьетнама по тропе Хо Ши Мина, и они заявляли, что увеличили ливневые осадки на 30%. Хотя совершенно непонятно, почему выпадение дождя на врага причиняет больше вреда, чем напалм или фугасные бомбы, но разоблачение операции *Motorpool* в 1973 г. потрясло страну и весь мир. Засев облаков начал приобретать оттенок злонамеренности, и к 1977 г. США были вынуждены подписать международный договор о запрещении манипулирования погодой в военных целях.

Иначе говоря, засев облаков оказался вопросом дискуссионным. 9 июня 1972 г. во время затянувшегося эксперимента по засеву облаков в Южной Дакоте внезапное наводнение унесло жизни 256 человек в Рапид-Сити; на последующем судебном процессе организаторы засева облаков попали в затруднительное положение, доказывая, по существу, неэффективность своего собственного предприятия. Дело было отложено по причине юридических формальностей до тех пор, пока суд не определит причинно-следственные связи. Как было известно, до и после происшествия в Рапид-Сити фермеры выражали недовольство засевом облаков, считая, что без него вода беспрепятственно попадала бы на их хозяйства, и с тех пор засев обвиняли в других, меньших наводнениях.

Эффективность засева никогда не обсуждалась в суде, но происходящие инциденты подмочили репутацию засева облаков.

Ну и, конечно, приверженцы засевов вынуждены отстаивать свои позиции перед теми, кто считает их действия выступлением против божьего замысла; перед теми, кто инкриминирует им приватизацию погоды как капиталистический сговор; перед теми, кто убежден, что засев облаков, опыление посевов и даже инверсионные следы высоко летающих реактивных самолетов — все это часть дьявольской операции массового истребления людей путем распыления химически вредных веществ, которую проводит правительство. На сайте *AboveTopSecret.com* описано, как «засев облаков погубит нас всех».

Частично этот параноидальный бред берет начало в утверждении, что йодистое серебро, химическое соединение, применяемое в фотографии, на самом деле токсично, особенно для рыбы. И это распространяют не конспирологи, озабоченные распылением химикалий в атмосфере. Большинство обществ защитников природы подвергают сомнению безопасность засева облаков с 1976 г., особенно в свете его неясной эффективности. Фрэнсис Мэнгелс (Francis Mangels), специалист по дикой природе, бывший сотрудник Лесной службы США, работавший в калифорнийском национальном лесу Шаста-Тринити, на протяжении многих лет боролся с засевами облаков. В 2010 г. он заявил репортерам: «Йодид серебра — яд для водных насекомых. Засев облаков никогда не показывал себя в работе на должном уровне, в 95% случаев он провалился, и это отравы. О чем тут еще говорить?».

Это не вполне так. Правда заключается в том, что йодид серебра применяется в таких крошечных количествах, что его невозможно измерить в окружающей среде. Облака, пригодные к засеву, обычно содержат от 10 до 30 тыс. килотонн воды, поэтому 40 с лишним граммов йодистого серебра, обычно используемые при засевах, — бесконечно малая величина. В целом по миру засев облаков ежегодно составляет десятую долю процента всего количества йодистого серебра, привносимого в биосферу человеческой деятельностью в США. Операторы, засеивающие облака, продолжают утверждать, что йодистое серебро, применяемое ими, нельзя определить на фоновом уровне ни в почве, ни в грунтовых водах и что оно не представляет угрозы ни человеку, ни рыбе, хотя это не значит, что этот спорный вопрос скоро будет решен.

Ученые уверены, что именно сочетание противоречивых и неясных результатов привело к тому, что федеральное правительство отказалось от проведения исследований искусственного воздействия на погоду в 80-х гг. XX века. Билл Вудли

(Bill Woodley), метеоролог в отставке, сегодня член редколлегии *Journal of Weather Modification*, вспоминал проведение многообещающих опытных засевов облаков во Флориде в 70-х гг. XX в., которые внезапно прекратили финансировать. Хотя он и его коллеги, кажется, добились увеличения дождевых осадков на 15% на площади 13 тыс. кв. км, они прогнозировали больше. Вудли рассказывает: «Некоторые представители средств массовой информации сделали вывод: "Что ж, вас постигла неудача". Мы пытались ответить: "Нет, мы многое узнали" — и выступали за финансирование подтверждающей стадии», но NOAA, по словам исследователя, буквально перекрыло кислород. «Люди говорили: "Если это не очевидно и недоказуемо, нам не надо огорчаться"».

Для ученых многообещающие, но не четкие данные служат аргументом в пользу проведения более глубоких изысканий. «Рассудительный ученый сказал бы: "Ясно, что засев облаков работает в определенных условиях, но вопрос в том, как часто случаются подобные обстоятельства в области экономической целесообразности и как количественно определить их на месте", — делится раздумьями еще один метеоролог НЦАИ Дэн Брид (Dan Breed). Для правительственных чиновников, принимающих решения по финансированию в весьма напряженной политической обстановке, противоречивые данные все же служат извинением выхода из предприятия, вызывающего все больше разногласий. Джозеф Голден (Joseph Golden), когда-то возглавлявший ныне не существующую программу NOAA по преобразованию атмосферы, а сегодня работающий в Юте с Ассоциацией по искусственному воздействию на погодные условия, объединяющей 18 проектов запада по засеву облаков, рассказывал: «В определенной момент федеральное правительство сказала: "Ну его к чертям! В этом нет смысла" — и совсем выбросило из финансирования научные исследования в начале 80-х гг. XX в.». Голден выглядит радостным и цветущим в свои 60 лет. Когда мы встретились за кофе в Боулдере, штат Колорадо, он был готов часами говорить о беспомощности государственных научных учреждений. «Нам нужна беспристрастная оценка данных. Правительство могло бы ее сделать. Но оно не участвует в поддержке исследований, поскольку они спорны». Итак, за последние 20 лет ученые, изучающие активные воздействия на погодные условия в США, сделали все без федерального финансирования.

Те, кто следует по пути, на котором китайцы обгоняют американцев, могут добавить в список помощь общественности в деле засева облаков. Китайская государственная метеослужба поставила цель добыть дополнительно 3–5% дождевых осадков из небес в это десятилетие. Они вызвались извлечь почти 500 млрд т дождевой воды,

которая не смогла бы иным способом пролиться на землю. В Таиланде проводят засева облаков с 60-х гг. XX в. по методу под названием «суперсэндвич», запатентованному самим королем Пумипоном Адульядетом (Bhumibol Adulyadej), согласно которому засеваются одновременно как теплые, так и холодные облака, плавающие на разных уровнях. (Вряд ли можно найти достоверные сведения об эффективности этой программы, поскольку в Таиланде считается преступлением говорить что-то негативное о короле.)

В Малайзии энергично засевали облака в этом году, чтобы вызвать дождь, который, кажется, также выпал над соседним Сингапуром. В Индонезии, где проводились опытные засева облаков два года назад, чтобы уменьшить дым от лесных пожаров, в этом году заседали облака, чтобы отвести от Джакарты вызывающие наводнения ливни. Россия — горячий сторонник этих технологий, здесь применяли их для вымывания радиоактивных частиц из воздуха после взрыва ядерного реактора в Чернобыле в 1986 г. Всего 50 стран занимаются засева облаков, большинство при участии Бройнтеса и его коллег из НЦАИ.

Усиливая дождь

Самолеты, не говоря уже о ракетных установках и зенитных орудиях, — грубоватые средства. Они дороги в эксплуатации и содержании, они загрязняют среду, и весь процесс засева облаков может казаться безнадежным пережитком прошлого века. Поэтому неудивительно, что люди находятся в поисках более чистого, более продвинутого способа вызывать дождь. Сегодняшний конек — ионизация атмосферы; в лаборатории наполнение воздуха заряженными частицами вызывает сгущение и выпадение влаги. По проекту, реализуемому в Абу-Даби, выставляются антенны, похожие на каркасы гигантских зонтиков, научные разработчики этого проекта настаивают, что он дает результаты, то же заявляют и в Австралии, где антенные конструкции похожи на огромные детские игровые городки. Надо отметить, что ни один из ученых, у кого брали интервью по поводу этих сооружений, не выразил большой уверенности ни в теоретических основах, ни в практическом решении дождевого вопроса путем ионизации атмосферы. Бройнтес даже назвал эти опыты обманом. Один из первых ученых-экспериментаторов Архимедес Руис-Коломбе (Arquimedes Ruiz-Colombié), применивший эти технологии в начале XXI в. в Ларедо, штат Техас, пытался вызвать дождь с помощью ионизационной антенны величиной с купол цирка, но не нашел доказательств своего свершения.

Руис-Коломбе — крупный общительный человек, ему 61 год, начинал свою карьеру на Кубе до того, как попал в тюрьму, потом был выслан

за политическую деятельность в 1990-х гг. Сегодня преподает в Техасском технологическом университете и работает в Сан-Анджело вместе с Дженнингсом над проектом по засева облаков. Во время моей беседы с Дженнингсом он с грохотом появился в офисе. Он категорически заявил, что несмотря на то, что я мог услышать, его эксперимент по ионизации не провалился. Он закончился не с теми результатами, которые ожидались. Он пояснил: «Мы не обнаружили признаков усиленного дождя, это правда. Но с подветренной стороны башни мы увидели пониженную концентрацию аэрозолей (взвешенных в воздухе частиц). Они склеились друг с другом и упали на землю. Таким образом, ионизация очистила окружающую среду». Что касается опытов создания дождя в Абу-Даби и Австралии, Руис-Коломбе отнесся к ним очень скептически, однако уточнил: «Но я лишен предвзятости. Просто покажите мне конкретику».

Пока Дженнингс объяснял, что основательный сбор данных, математическая обработка и моделирование перемещения облаков, проведенные Руисом-Коломбе, убедительно показали состоятельность засева облаков, Руис-Коломбе скромно кивал головой рядом. Они вручили мне анализ десятилетней работы их головной организации, ассоциации по искусственному воздействию на погодные условия в масштабе штата, охватывающей 35 округов. Согласно проведенным исследованиям, 3,1 тыс. засеянных облаков становились мощнее и сохранялись дольше, чем незасеянные облака вне зоны воздействия, и всего они извергли на 4,2 куб. км воды (т.е. почти на 12%) больше, чем незасеянные облака.

«Поймите, наконец, пожалуйста, основной момент, — говорит Руис-Коломбе, наклонившись вперед и подняв палец. — Мы не можем сотворить дождь. Если вообще нет облаков или же нет пригодных облаков, мы не можем сделать что-то из ничего. Все, что мы можем сделать, — это усилить дождь». — «Правильно, — поддерживает Дженнингс. — Представьте себе губку, когда вы достаете ее из ведра воды. Вы можете поднять ее и дать стечь воде — или же отжать ее. Так вот: мы отжимаем».

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Taming the Sky. Jane Qiu and Daniel Cressey in Nature, Vol. 453, pages 970–974; June 19, 2008.
- Fixing the Sky: The Checkered History of Weather and Climate Control. James Rodger Fleming. Columbia University Press, 2010.

ОБ АВТОРЕ

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



Человек в цифровом измерении

Способны ли всяческие шагомеры и прочие фитнес-гаджеты держать нас в тонусе и приносить пользу?



Читатель уже, наверное, слышал об умных браслетах-шагомерах вроде *Fitbit* или *UP* стоимостью от \$50–100, которые скрупулезно подсчитывают количество шагов, сделанных хозяином за день, а затем услужливо выводят общий результат на экран смартфона. Помимо упомянутых брендов в указанную продуктовую нишу прорвались также *Nike+ FuelBand*, *Garmin Vivofit*, *Basis Peak*, *Magellan Echo*, *Misfit Shine*. От них не отстают умные часы *Apple Watch* и *Samsung Gear*, которые тоже умеют отслеживать работу человеческого организма. Объем рынка носимых гаджетов, осуществляющих мониторинг физической активности человека, равен \$1,15 млрд.

Illustration by Rebekka Dunlap

Все перечисленные выше умные девайсы подсчитывают количество шагов. Большинство из них умеют отслеживать процессы, происходящие в человеческом организме во время сна, приоткрывая тем самым завесу тайны над этим загадочным состоянием, в котором человек проводит третью часть своей жизни. Есть и более продвинутое устройства, способные измерять пульс, уровень кислорода в крови, температуру и вес тела и даже интенсивность потоотделения.

Очень занятные гаджеты! С помощью этих устройств самый обычный человек способен самостоятельно контролировать работу своего организма. И делать это он может непрерывно, не дожидаясь ежегодного медосмотра.

В общем, появился новый тренд: люди кинулись пристально следить за своим телом. На этой почве возникло интернет-сообщество, отдельные представители которого прямо-таки одержимы стремлением мониторить свой организм.

Миллионы людей хотят быть здоровыми и привлекательными — кто бы с этим спорил! Однако если говорить о фанатичном стремлении контролировать работу тела и о продаже умных девайсов, то здесь возникает несколько трудностей.

Во-первых, все перечисленные выше гаджеты на самом деле не так уж и точны, как мы думаем. Скажем, если одновременно воспользоваться шагомерами трех разных марок, то их показания не совпадут. То же самое касается и умных устройств, осуществляющих мониторинг работы организма во время сна, — и этому врачи-сомнологи не удивляются, поскольку умные браслеты не умеют определять фазы сна, ведь для серьезных исследований нужны не подобные гаджеты, а ЭЭГ.

Не умеют определять? И не надо! Ведь все эти устройства пользуются успехом у покупателей вовсе не из-за их умения делать высокоточные измерения, а из-за способности мотивировать. Скажем, каждый знает, что надо больше двигаться и хорошо спать, — но большинство из нас не будут делать этого просто так, поэтому нужна мотивация. Вот почему все эти фитнес-гаджеты постоянно подсовывают нам информацию о состоянии работы организма. Скажем, всякий раз, когда вы включите телефон, на экране тут же появляются ваши достижения, а для сравнения высвечиваются результаты, достигнутые вашими друзьями, использующими тот же самый бренд, — и это делается для того, чтобы вас немного устыдить. Поверьте, действует эффективно.

Другими словами, точность мониторинга не имеет большого значения, ведь главная цель — постоянно держать пользователя в курсе и превратить работу над собой в подобие игры. Вот в этом и заключается основное предназначение всех этих устройств. И теперь владелец такого девайса сам захочет припарковать автомобиль подальше от конечного пункта или выйти на одну остановку раньше, чтобы остаток пути пройти пешком и тем самым улучшить результат своего шагомера, скажем, с 9374 до 10 тыс.

Другая проблема, от которой не так-то просто отмахнуться, — это обилие данных. Ежедневно накапливаются терабайты персональной информации о здоровье пользователей. По сути, это самая большая кладовая данных о здоровье граждан — и никто ею не воспользовался.

Ученые были бы рады получить доступ к этим информационным хранилищам, да и рекламодатели тоже. Не забудем и о страховых компаниях.

Ежедневно накапливаются терабайты персональной информации о здоровье пользователей. Кому же все это море данных будет принадлежать? Станут ли производители фитнес-гаджетов продавать персональную информацию? Будет ли она анонимной и агрегированной или нет?

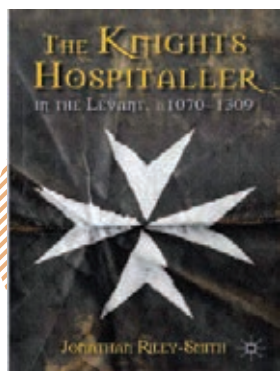
Они могли бы, скажем, давать скидки наиболее активным пользователям и тем самым мотивировать тех, кто ведет малоподвижный образ жизни (скажем, повысив расценки для курильщиков и нарушителей правил дорожного движения).

Кому же все это море данных будет принадлежать? Станут ли производители фитнес-гаджетов продавать персональную информацию? Будет ли она анонимной и агрегированной или нет? А если пользователь вдруг захочет передать эту информацию лечащему врачу или ученым для проведения исследований?

Итак, сейчас ситуация в этой области напоминает времена Дикого Запада. Мы собираем горы персональных данных о здоровье и складываем их в подземных закромах. Словом, мониторинг работы организма пользователя самим же пользователем только тогда будет эффективным, когда мы наконец научимся отыскивать золотое зерно в толще персональных данных, а также определим, кто именно будет этим заниматься. ■

Перевод: И.В. Ногаев

Джонатан Райли-Смит. Рыцари-госпитальеры в Леванте в 1070–1309 годах (Jonathan Riley-Smith. *The Knights Hospitaller in the Levant, c. 1070–1309*)



Имя профессора Оксфордского университета Джонатана Райли-Смита не нуждается в представлении. Каждая из его 11 книг, посвященных истории крестовых походов и судьбам крестоносцев, становилась событием. Данная работа посвящена одному из крупнейших церковно-рыцарских орденов, игравшему главную роль в организации рыцарского государства в Леванте и впоследствии оказавшему значительное влияние на многие европейские государства. Интересно, что он сохранился и в наши дни. В книге, основанной на многочисленных архивных источниках, автор прослеживает и во многом восстанавливает историю ордена госпитальеров за два первых века его существования. Важно, что он подробно описывает повседневную жизнь состоявших в ордене братьев и сестер, показывая, что во все времена орден был и религиозной организацией, и крупной международной корпорацией. Не ограничиваясь географическими рамками Леванта, Райли-Смит показывает деятельность ордена на острове Кипр, его роль в развитии торговли с Ближним Востоком, а также его последующую судьбу в Европе.

Кимберли Рейнолдс. Радикальная детская литература: образ будущего и эстетические трансформации в прозе для юношества (Kimberley Reynolds. *Radical Children's Literature: Future Visions and Aesthetic Transformations in Juvenile Fiction*)



Книга профессора детской литературы Ньюкаслского университета и президента Международного общества исследователей детской литературы Кимберли Рейнолдс посвящена опровержению распространённого представления об исходном консерватизме детской прозы, которая якобы

постоянно отстает от того, что пишут для взрослого читателя. Рассматривая множество текстов прошлого и настоящего, она показывает, что во все времена проза для детей была для авторов способом представления радикальных и инновационных текстов. Особенно это актуально в современных условиях, когда границы между литературой для взрослых и детей нередко вообще неощутимы. Исследовательница показывает, как постепенно ломалась традиционная структура детской книги, прослеживает эволюцию наиболее популярных и востребованных форматов, например книги с картинками, приключенческой саги или травелога. У каждого из них есть и свой комплекс выразительных средств, сформированных под воздействием читательских приоритетов. Он мало меняется со временем, что и позволило проследить путь, которым жанры, тексты и новые технологии творчески взаимодействуют с культурой детства и молодежи. Естественно, что Рейнолдс делает только первые шаги в данном направлении, соответственно, есть надежда, что ее исследования будут продолжены специалистами разного профиля.

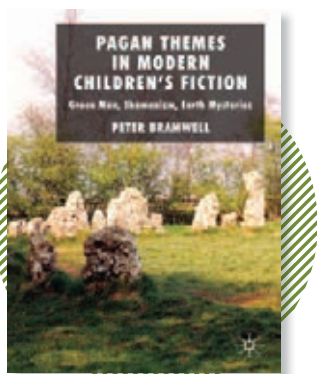
Эмма Уотертон и Стив Уотсон. Справочник по современным исследованиям культурного наследия (Emma Waterton and Steve Watson. *The Palgrave Handbook of Contemporary Heritage Research*)



Справочник, составленный двумя ведущими специалистами по изучению культурного наследия из университетов Великобритании и Австралии, построен по проблемному принципу и состоит из шести тематических блоков. Вводный раздел открывается редакционной статьей, задающей исторический и методический контекст всей книги. Статья дополнена анализом культурного дискурса в основных европейских и азиатских традициях, а также современных методов представления объектов художественного наследия и приемов сохранения иллюзии его аутентичности. В последующих частях справочника показаны особенности представления археологических памятников разных эпох, приемы организации музейных и парковых экспозиций. Третья часть книги посвящена таким специфическим видам культурного наследия, как

промышленные объекты и города. Она дополняется главами о роли и судьбах памятников культуры в различные эпохи, во время конфликтов и войн. Заключительная часть книги посвящена роли культурного наследия в сохранении национальной и этнической идентичности, современным методам использования памятников в туристическом бизнесе и приемам их адаптации к реалиям нашего времени, а также сложившимся в XX в. социальным практикам использования объектов культурного наследия в условиях современной рыночной экономики.

Питер Брэммуэлл. Языческие темы в современной детской литературе: Лесной человек, шаманизм, тайные миры (Peter Bramwell. Pagan Themes in Modern Children's Fiction: Green Man, Shamanism, Earth Mysteries)



Книга британского ученого Питера Брэммуэлла посвящена отражению архаических языческих верований в современной детской беллетристике. Исходя из опыта сравнительных исследований, накопленного современными лингвистами и этнологами, а также из труда М.М. Бахтина

о творчестве Франсуа Рабле, он пытается определить параметры древнейших верований, наиболее востребованные современной прозой для детей и подростков. Анализируя такие архетипические образы, как Вечный охотник, Лесной человек, ученый показывает, что современные авторы используют их как средство для передачи собственных мыслей и отражения современных взглядов на охрану окружающей среды и защиту природы. Вместе с тем он подчеркивает их большой педагогический потенциал и доказывает, что он далеко не полностью востребуется современными авторами. В заключительных главах книги Брэммуэлл предлагает пути адаптации архаических контекстов и языческих традиций с использованием современного опыта воссоздания доисторических памятников. В книге рассмотрен широкий диапазон текстов таких популярных авторов, как Сьюзен Купер, Кэтрин Фишер, Энтони Горвиц, Джеральдин Маккогрин, Мишель Пейвер, Сьюзен Прайс и Филип Пулман.

Иоханнес Диллингер. История магической охоты за сокровищами в Европе и Северной Америке (Johannes Dillinger. Magical Treasure Hunting in Europe and North America. A History)



Предлагаемая книга — первая фундаментальная работа по данному вопросу, выигравшая много престижных премий и стипендий. Иоханнес Диллингер, профессор Майнцкого и Оксфордского университетов — известный исследователь древних верований. Он привлекает множество британских, европейских и американских источников

от памятников средневекового эпоса, документов процессов над ведьмами и легенд Дикого Запада США до нацистских архивов и современных полицейских отчетов. Основная часть книги посвящена европейскому Средневековью. Чтобы ввести читателя в непростой дискурс книги, он начинает с обзора средневековых источников, привлекая малоизвестные памфлеты и архивные материалы колдовских процессов. Диллингер анализирует типы охранителей и искателей сокровищ, показывая, что последние практически не изменились в настоящее время. Охватив огромный по протяженности период времени от Средневековья до XX в., Диллингер не только показывает богатую и устойчивую волшебную культуру, но и раскрывает ее влияние на нашу историю и понимание прошлого. Важно, что сам автор стоит на строго научных позициях, объединяя чутье историка и догадку этнографа. Он показывает постепенное накопление знаний о сокровищах в Средние века, эволюцию отношения к ним властей в разные эпохи. Заключительная часть книги посвящена поискам сокровищ в XIX и XX вв.

Подготовил Ф.С. Капица

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 2015 г. составит:

Для физических лиц: **1380 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью*.

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

Стоимость одного номера журнала: за 2013 г. — **100 руб. 00 коп.**, за 2014 г. — **120 руб. 00 коп.**

(без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **100 руб** заказной бандеролью, **70 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	

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка БИК 044525225
России ОАО №9038/00495 3010181040000000225
Корреспондентский счет 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 БИК 044525225
России ОАО №9038/00495 3010181040000000225
Корреспондентский счет 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



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

© 2015 by Scientific American, Inc.

Читайте в следующем номере:

Подлинная история тираннозавров

Палеонтологам на протяжении десятилетий хорошо известны *T. rex* и другие гигантские динозавры. Однако когда именно они появились и от кого произошли, оставалось загадкой из-за отсутствия ископаемого материала для исследований и выводов. Недавние открытия помогли понять, что этот «культовый» род динозавров имеет весьма глубокие — и на удивление скромные — эволюционные корни: огромные грозные ящеры оказались поздними потомками небольших созданий, порой обладавших весьма причудливой анатомией.

То, что связывает нас

Материя нашего мира на фундаментальном уровне сформирована из частиц, называемых кварками и удерживаемых вместе «липкими» частицами, называемыми глюонами. Соответственно, без преувеличения можно утверждать: именно глюоны ответственны за то, что вся Вселенная не распадается. А вот как именно они делают это — по-прежнему большой секрет.

Снять проклятие болезни Альцгеймера

Несколько колумбийских семей — носителей редкой генетической мутации, выступающей причиной одного из самых страшных нейродегенеративных заболеваний, стали идеальной фокус-группой для поисков инновационной методики лечения.

Как обойти закон Мура

Самое известное эмпирическое правило в мире гласит, что каждые два года количество транзисторов, размещаемых на компьютерном чипе, удваивается. А на пути уменьшения размеров транзисторов рано или поздно встанут законы физики — и этот предел уже очень близок. В результате производители чипов тратят миллиарды на разработку принципиально новой компьютерной архитектуры и дизайна процессора.

Волны разрушения

Арктический лед тает быстрее, чем предсказывали модели глобального потепления, озадачивая ученых. Возможно, причина этому — гигантские волны, не наблюдавшиеся никогда раньше.



Светские беседы клеток

Клетки обмениваются информацией при помощи щелевых контактов — особых структур, которые непосредственно соединяют их. Эти «светские беседы» имеют отношение буквально ко всему в нашем организме — от сердцебиения до, например, нашей способности слышать. Нарушения в этой сигнальной системе могут приводить к развитию самых разнообразных заболеваний, а глубокое понимание механизма ее функционирования — к новым методикам их лечения.

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ
Война с вирусом
Эбола

ПЛАНЕТОЛОГИЯ
Океаны родом
из космоса?

ТЕХНОЛОГИИ
Мир
без секретов

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sci-ru.org

№5-6 2015

Лечение током

Биоэлектронная медицина может
поставить точку в вопросе лечения
артрита, диабета и даже рака

ISSN 0208-0621



9 770208 062001

15.005